

FACULTÉ DE MÉDECINE ET DE PHARMACIE DE LYON

Année scolaire 1898-99. — N° 75

TRAVAUX DU LABORATOIRE DE PHYSIQUE MÉDICALE

RECHERCHES EXPÉRIMENTALES

SUR LES

PROPRIÉTÉS PHYSIQUES DES ÉTOFFES

employées pour les uniformes de l'armée

THÈSE

PRÉSENTÉE

A LA FACULTÉ DE MÉDECINE ET DE PHARMACIE DE LYON

Et soutenue publiquement le 14 Janvier 1899

POUR OBTENIR LE GRADE DE DOCTEUR EN MÉDECINE

PAR

PIERRE KOLB

Né à Markolsheim (Basse-Alsace), le 29 juin 1875

Elève de l'École du Service de Santé Militaire



LYON

IMPRIMERIE A. BONNAVIAT

13, rue Sainte-Catherine, 13

1899

RECHERCHES EXPÉRIMENTALES
SUR LES
PROPRIÉTÉS PHYSIQUES DES ÉTOFFES
EMPLOYÉES POUR LES UNIFORMES DE L'ARMÉE

FACULTÉ DE MÉDECINE ET DE PHARMACIE DE LYON

Année scolaire 1898-99. — N° 75

TRAVAUX DU LABORATOIRE DE PHYSIQUE MÉDICALE

RECHERCHES EXPÉRIMENTALES

SUR LES

PROPRIÉTÉS PHYSIQUES DES ÉTOFFES

employées pour les uniformes de l'armée

THÈSE

PRÉSENTÉE

A LA FACULTÉ DE MÉDECINE ET DE PHARMACIE DE LYON

Et soutenue publiquement le 14 Janvier 1899

POUR OBTENIR LE GRADE DE DOCTEUR EN MÉDECINE

PAR

PIERRE KOLB

Né à Markolsheim (Basse-Alsace), le 29 juin 1875

Elève de l'Ecole du Service de Santé Militaire



LYON

IMPRIMERIE A. BONNAVIAT

13, rue Sainte-Catherine, 13

1899

PERSONNEL DE LA FACULTÉ

MM. LORTET DOYEN.
LACASSAGNE ASSESSEUR.

PROFESSEURS HONORAIRES

MM. PAULET, CHAUVEAU, BERNE.

PROFESSEURS

Cliniques médicales	{	MM. LÉPINE. BONDET.
Cliniques chirurgicales		OLLIER. PONCET. FOCHIER.
Clinique obstétricale et Accouchements		GAYET.
Clinique ophtalmologique		GAILLETON.
Clinique des maladies cutanées et syphilitiques.		PIERRET.
Clinique des maladies mentales		MONOYER.
Physique médicale		HUGOUNENQ.
Chimie médicale et pharmaceutique		CAZENEUVE.
Chimie organique et Toxicologie		FLORENCE.
Matière médicale et Botanique		LORTET.
Zoologie et Anatomie comparée		TESTUT.
Anatomie		RENAUT.
Anatomie générale et Histologie		MORAT.
Physiologie		TEISSIER.
Pathologie interne		AUGAGNEUR.
Pathologie externe		MAYET.
Pathologie et Thérapeutique générales		TRIPIER.
Anatomie pathologique		POLLOSSON.
Médecine opératoire		ARLOING.
Médecine expérimentale et comparée		LACASSAGNE.
Médecine légale		BARD.
Hygiène		SOULIER.
Thérapeutique		CROLAS.
Pharmacie		

PROFESSEUR ADJOINT

Clinique des Maladies des Femmes M. LAROYENNE.

CHARGÉS DE COURS COMPLÉMENTAIRES

Clinique des Maladies des Enfants MM. WEILL, agrégé.
Maladies des oreilles, du nez et du larynx. . . LANNOIS, agrégé.
Accouchements POLLOSSON (A.), agr.
Botanique BEAUVISAGE, agrégé.

AGRÉGÉS

MM.	MM.	MM.	MM.
BEAUVISAGE.	ROLLET.	DURAND.	PAVIOT.
CONDAMIN.	ROUX.	DOYON.	NOVE-JOSSERAND.
COURMONT.	COLLET.	BARRAL.	BERARD.
DEVIC.	BOYER.	MOREAU	BORDIER.
POLLOSSON (A.).	VALLAS.	PIC.	SAMBUC.
ROCHET.	SIRAUD.		

M. BEAUDUN, Secrétaire.

EXAMINATEURS DE LA THÈSE

M. MONOYER, président; M. LANNOIS, assesseur;
MM. ROUX et BORDIER, agrégés.

La Faculté de médecine de Lyon déclare que les opinions émises dans les Dissertations qui lui sont présentées doivent être considérées comme propres à leurs auteurs et qu'elle n'entend leur donner ni approbation ni improbation.

AVANT-PROPOS

Sur le point de quitter l'Université lyonnaise et l'Ecole du Service de Santé militaire, nous tenons à assurer de notre gratitude tous ceux qui nous ont guidé de leurs conseils, entouré de leur sympathie.

Nos remerciements iront d'abord à Monsieur le Professeur Monoyer qui a mis à notre disposition les précieuses ressources de son laboratoire et qui nous fait aujourd'hui l'honneur de présider cette thèse.

Nous tenons particulièrement à assurer de notre reconnaissance M. le Professeur agrégé Bordier, l'inspirateur de ce travail, qui ne nous a ménagé, pour le mener à bonne fin, ni son temps, ni ses conseils.

M. le Professeur Testut nous a admis dans son laboratoire. Nous le remercions de nous avoir guidé pendant deux années dans l'étude de l'anatomie, la base et la partie non la moins attrayante des sciences médicales.

M. le Médecin-Inspecteur Kelsch, Directeur de l'Ecole du Service de Santé militaire, nous a témoigné en maintes circonstances un bienveillant intérêt, nous le prions d'agréer l'expression de notre respectueuse reconnaissance.

Nous remercions sincèrement M. le Médecin-Principal de 1^{re} classe Pierrot, Sous-Directeur de l'Ecole, de la bienveillance qu'il nous a toujours montrée.

Nous n'oublierons jamais nos Maîtres de l'hôpital militaire Desgenettes et de l'Ecole, qui ont eu la tâche ingrate et difficile de nous apprendre les premiers éléments de la clinique. MM. les Médecins-Majors Berthier, Boisson, Ferrier, Rioblan, Bernard ont contribué plus particulièrement à former nos connaissances médicales, nous les assurons de notre profonde reconnaissance.

Nous n'oublierons pas non plus les marques répétées de sympathie que nous ont données MM. les Médecins-Majors Patte et Georges; nous les remercions.

Nous voulons aussi en cette page dire notre souvenir reconnaissant à ceux qui commencèrent et dirigèrent nos études médicales, aux Professeurs de l'Université de Dijon et en particulier à MM. Bataillon, Pigeon, Bagard.

Nous emporterons de ces trois années d'école un excellent souvenir de nos camarades de promotion. Nous avons trouvé parmi eux des amis que nous n'oublierons jamais.

Nous ne voulons pas quitter la ville de Lyon sans assurer de notre reconnaissance les familles qui nous ont reçu dans leur intimité et dont les cordiales relations nous ont rendu moins sensible l'éloignement de la famille.

P. K.

INTRODUCTION

Les homéothermes dont l'homme fait partie, possèdent pendant toute la durée de leur existence une température à peu près constante, grâce à un régulateur automatique qui n'est autre que le système nerveux.

La régulation thermique, quand la température d'un animal tend à s'élever, se fait principalement par l'évaporation d'eau : que celle-ci se fasse au niveau de la surface cutanée ou au niveau de la surface pulmonaire, elle est toujours accompagnée d'une absorption considérable de chaleur, puisque un kilogramme d'eau évaporée à la température de 37° nécessite une dépense de chaleur égale à 580 calories-kilogramme-degré-centigrade. Cette quantité de chaleur serait suffisante pour élever ou abaisser de 10°, suivant que la chaleur est communiquée au corps ou qu'elle lui est soustraite, la température d'un homme pesant environ 60 kilog.

La lutte contre le froid se fait chez les homéothermes au moyen de fourrures plus ou moins épaisses ou, à défaut de fourrure, au moyen d'une couche très importante de tissu adipeux. Ces téguments forment une barrière très efficace contre la déperdition de chaleur ; cette efficacité est si grande qu'il n'est pas rare de constater entre la température centrale d'un homéotherme et la tempé-

rature du milieu ambiant des différences pouvant aller jusqu'à 80° et 100° centigrades dans les régions glaciales.

Or, l'homme est un homéotherme à fourrure nulle ; il a donc été poussé naturellement, dans les régions tempérées et glaciales, à se constituer artificiellement un système de corps souples et plastiques pouvant s'appliquer sur toutes les régions du corps, jouant le même rôle au point de vue physique que la fourrure des autres animaux. Ce système n'est autre que le *vêtement*.

Dans l'étude qui suit, nous nous sommes proposé d'étudier expérimentalement les propriétés physiques des étoffes de laine employées pour confectionner les vêtements du soldat d'infanterie. Ces étoffes sont seules intéressantes à étudier, car elles sont fabriquées toujours d'après un modèle déposé, ne changeant pas, ce qui n'est point le cas des étoffes employées pour la confection des vêtements civils, et en second lieu parce que leur port est obligatoire, et partant de là, leurs conditions hygiéniques doivent être aussi bonnes que possible.

Ces conditions hygiéniques des étoffes proviennent de leurs propriétés physiques. Parmi ces dernières, les plus importantes sont la conductibilité calorifique intérieure de ces tissus, leur pouvoir émissif, leur perméabilité gazeuse.

Le soldat, marchant par tous les temps, il était indiqué pour nous d'étudier l'influence de l'eau sur ces propriétés physiques et de passer en revue tous les moyens employés pour rendre imperméables à l'eau les vêtements du soldat.

Nos recherches ont porté, pour la capote et le panta-

lon du troupier, sur des effets neufs et vieux ; nous désignerons, pour abrégé, les étoffes constituant les premiers effets, *étoffes n° 1*, et les étoffes des seconds, *étoffes n° 2*. Les expériences sur les étoffes servant à confectionner l'uniforme de l'officier, du sous-officier et la tunique du soldat ont porté sur des tissus neufs.

CHAPITRE PREMIER

Etude physique des étoffes au point de vue thermique.

Dans ce chapitre, nous exposerons d'abord les travaux, relatifs à cette question, qui ont paru jusqu'à ce jour ; puis, nous examinerons et discuterons les méthodes employées et les résultats acquis, nous indiquerons ensuite dans une seconde et une troisième partie, les méthodes que nous avons employées pour la recherche de la conductibilité calorifique intérieure des étoffes et de leur pouvoir émissif, et nous donnerons enfin dans chacun de ces deux cas les résultats obtenus.

§ 1. *Historique et critique des travaux parus.*

Rumford est un des premiers qui se soit occupé de l'étude physique des vêtements. Il expérimentait en 1786 avec un appareil des plus primitifs, se composant d'un ballon en verre surmonté d'un tube dans lequel était placé un thermomètre (1). La boule de ce dernier était en-

(1) Cité par Radau : Les vêtements et les habitations dans leurs rapports avec l'atmosphère, 1883.

tourée de l'étoffe à étudier et pénétrait jusqu'au milieu du ballon de verre. Il plongeait son appareil dans l'eau bouillante, puis dans un mélange réfrigérant et calculait le temps que mettait le thermomètre pour descendre de 70° à 10° R. Il a obtenu 9 minutes 36 pour le thermomètre nu, avec des fils de coton 14, des fils de laine 15, de la bourre de coton 17 et de la laine de mouton 18,38.

Après Rumford, nous signalerons les recherches de Senebier, Baëckmann (1812), Sames Sturk qui n'ont rien de bien caractéristique. Il faut arriver à Coulier (1), en 1858, pour avoir une étude importante sur cette question ; importante, car ses résultats servent encore de base dans les traités d'hygiène aux chapitres traitant des rapports des matières vestimentaires avec le calorique,

Coulier opérait de la façon suivante. Il prenait un récipient de laiton, à parois minces, de 500 centim. cubes de capacité, le remplissait d'eau à une température T , supérieure à 50° , et le suspendait par des cordons de soie dans un air tranquille. Un thermomètre sensible, plongeant dans le liquide, permettait de constater les moindres variations de température de la couche en rapport avec le réservoir thermométrique. A partir du moment où il marquait 40° , Coulier notait, en minutes et en secondes, le temps nécessaire pour obtenir une diminution de 5° . Puis ensuite, recommençait l'expérience en recouvrant le vase de chemises faites de tissus différents et notait de même avec soin le temps

(1) Coulier, Expériences sur les étoffes qui servent à confectionner les vêtements militaires (Journal de la physiologie de l'homme et des animaux, t. 1, p. 122, 1858).

nécessaire pour amener avec chacune d'elles la chute thermométrique de 40° à 35° C.

Voici quelques-uns de ses résultats :

Récipient non couvert.....	48 min.	12 sec.
Recouvert avec toile de coton pour chemise..	41	39
— — doublure..	44	45
— chanvre.....	44	25
— drap bleu foncé.....	44	45
— — garance.....	44	50
— — bleu gris pour capote...	4	55

Coulier observa donc que le refroidissement du vase se faisait plus rapidement quand il était recouvert d'une étoffe et que ce refroidissement était plus rapide encore avec les étoffes de coton ou de chanvre qu'avec les étoffes de laine.

Il remarqua de plus que la coloration de l'étoffe avait une action très faible sur la rapidité de la perte de chaleur, car s'il recouvrait le vase de toile blanche ou de drap bleu foncé, le temps que mettait le vase à refroidir de 5° était le même, que la toile fût extérieure ou intérieure.

Après Coulier, Hammond (1), en 1863, fit en Amérique des expériences analogues, il chercha la durée du refroidissement entre 150° et 140° Fahrenheit (65°4 à 60° centigr.).

Voici quelques uns de ses résultats :

(1) W. A. Hammond, « Treatise on Hygiene, with special reference to the military service », p. 583. Philadelphie, 1863.

Recipient de cuivre sans étoffe.....	13 min. 41 sec.
Recouvert avec : coton pour chemise.....	9 42
— — toile de chanvre pour chemise	7 94
— — flanelle blanche.....	12 25
— — Drap bleu foncé.....	14 5
— — Drap bleu clair.....	13 50

Ces résultats sont analogues à ceux de Coulier.

En 1869, Krieger (1) reprend la question. La méthode qu'il emploie est la même que celle de Coulier, mais il arrive à d'autres conclusions. En revêtant successivement le cylindre de tôle d'une chemise de laine, de peau de daim, de soie, de coton, en notant l'abaissement de température en un temps donné, il ne trouve que des différences petites, variant de 1 à 2 pour 100.

Il conclut que tant qu'il s'agit de chaleur obscure, le pouvoir émissif ne variait pas d'une étoffe à l'autre. Dans une autre série d'expériences, il remarque que la déperdition de chaleur diminue quand on recouvre le cylindre d'une couche double de la même étoffe, et que si entre ces deux épaisseurs d'étoffes on laisse une couche d'air de un demi-centimètre, le retard du refroidissement s'élève de 30 à 35 pour 100, ce qui provient bien de la couche d'air, car ce retard est indépendant de la nature des enveloppes.

Geigel (2), en 1887, entreprend des recherches par une autre méthode. Dans un cylindre, rempli d'eau, il introduit son bras jusqu'à l'épaule : la chaleur gagnée par l'eau du cylindre donne la mesure de la déperdition de

(1) Krieger. — « Zeitschrift für Biologie », p. 504, 1869.

(2) Geigel. — « Archiv. für hygien », 1887.

chaleur de son bras. La vitesse de l'ascension du thermomètre plongé dans l'eau mesure d'après cet auteur la rapidité de perte de chaleur. Il recommence ensuite après avoir recouvert son bras d'un bas d'étoffe ; il observe d'abord une diminution dans la perte du calorique, mais après 40 minutes, cette perte est la même, que son bras soit ou ne soit pas recouvert par l'étoffe.

Il en conclut que ce n'est pas pour empêcher notre chaleur propre de se perdre que nous couvrons notre corps d'habits, mais bien pour éviter la sensation du froid ; grâce aux vêtements la déperdition de chaleur se fait la peau restant chaude et richement irriguée de sang.

En 1888, Schuster (1) reprocha aux auteurs qui l'ont précédé ne n'avoir pas tenu compte de certaines causes d'erreur. Il leur reproche d'abord de ne pas agiter l'eau du cylindre ; les couches supérieures sont plus chaudes que les inférieures ; il ajoute que l'adhérence des étoffes aux parois du cylindre n'est pas parfaite et enfin que les influences thermiques du milieu ambiant ne sont pas sans importance. C'est pour remédier à ce triple inconvénient qu'il modifia l'appareil de Coulier. Le cylindre, sur lequel se placent les étoffes, est recouvert de peau de chagrin de façon à ce que leur adhérence soit plus parfaite. Dans ce cylindre, tourne un mélangeur, ayant la forme d'une lame spirale, mu par une petite roue à auge, sur laquelle tombe un plet d'eau. Ce cylindre, où trouve un

(1) A. Schuster. — Ueber das Verhalten der trockenen, Kleidungsstoffe gegenüber dem warmedurchgang. (« Archiv. f. Hyg. » VIII, p. 1, 1888.)

thermomètre sensible, est renfermé dans un cylindre plus grand, à doubles parois entre lesquelles on met dans l'eau ; le cylindre intérieur est ainsi ainsi, autant que possible, isolé du milieu ambiant.

Dans ses recherches, Schuster tient encore compte de l'air interposé et de l'épaisseur du tissu et il établit le premier un coefficient de conductibilité : « C'est un nombre, dit-il, qui exprime en fraction de degré, la quantité de chaleur traversant une étoffe, d'un centimètre carré de surface, quand la différence $t-t'$ du milieu séparé par le tissu est d'un degré. » Il a trouvé ainsi le :

Pour le lin neuf.....	0.003 641
— coton.....	0.004 396
— flanelle.....	0.003 102

De ces nombres il déduit que les différents tissus, pris sous la même épaisseur ont une conductibilité sensiblement égale ; il ajoute d'autre part, qu'il est difficile dans l'émission de la chaleur, d'évaluer la part relative de la *conductibilité* et du *rayonnement*.

Tels sont résumés aussi brièvement que possible les principaux travaux sur la manière dont se comportent les vêtements vis-à-vis du calorique. Ces recherches ont permis de classer les différents tissus d'après l'accélération qu'ils apportent à la perte de chaleur du cylindre de l'appareil et c'est tout ce qu'on en peut tirer.

En outre, ces expériences ont été faites, à l'exception de celles de Schuster, sans tenir compte de la non uniformité de température du cylindre, ainsi que de celle de l'air ambiant. Cette considération était importante, car

d'après la loi de Newton, la quantité de chaleur perdue par un corps tel qu'une sphère métallique, par exemple, est proportionnelle à l'excès de sa température sur celle du milieu ambiant, ce qui s'exprime par

$$Q = K s (T - t)$$

T étant la température du corps, t celle de l'enceinte, s la surface rayonnante et k une constante variant avec la nature du corps considéré. Cette loi peut s'appliquer indifféremment au refroidissement des corps dans les gaz ou dans le vide. Mais on sait, depuis les expériences de Dulong et Petit, que l'excès de température du corps sur le milieu ambiant ne doit pas dépasser 20 à 30°.

Or, Coulier n'a pas tenu compte de la température de ce milieu ambiant, qui devait varier et être généralement telle que la différence $T - t$ était supérieure à 20°. Ce reproche s'adresse encore plus aux expériences de Hammond, dans lesquelles la température du cylindre est de 65°4, ce qui fait une différence de 35°, si la température du milieu ambiant est de 20° environ.

Schuster a voulu tenir compte de cette erreur, en mettant son cylindre dans un second cylindre plus grand, à doubles parois entre lesquelles il mettait de l'eau, et obtenait une température à peu près constante. Mais le cylindre était ouvert aux deux extrémités et partant donnait lieu à des courants d'air par convection.

De plus, dans les expériences de Coulier et dans celles faites d'une manière analogue, les résultats fournis ne peuvent servir à évaluer ni la conductibilité, ni le pouvoir émissif.

Quoique ces auteurs aient eu la prétention de déter-

miner la valeur relative de cette dernière propriété (le pouvoir émissif), leur dispositif expérimental était tout à fait impropre à faire cette détermination ; ils auraient dû mesurer non pas la température centrale du vase plein d'eau recouvert d'étoffe, mais bien la température de la face externe du tissu, celle qui est le siège de la perte de chaleur par rayonnement dans le milieu ambiant.

La loi de Newton, en effet, qui a été déterminée sur des corps bons conducteurs de la chaleur, ne peut s'appliquer au système hétérogène formé par le cylindre de Coulier et l'étoffe, car la température T de la formule précédente ne répond pas à la température de l'eau intérieure, mais bien à la *température de la face qui rayonne de la chaleur dans le milieu ambiant*.

On voit que les reproches adressés aux méthodes précédentes ne s'adressent pas seulement au manuel opératoire, mais au principe même de la méthode. Les résultats ne signifient pas grand'chose ; ils sont la résultante d'effets complexes, mal définis, dans lesquels interviennent en même temps et le pouvoir émissif et la conductibilité calorifique intérieure. Schuster avoue lui-même qu'il est difficile d'évaluer la part relative de la conductibilité et celle du rayonnement.

Les considérations générales qui suivent feront mieux comprendre encore les différences qui existent entre la conductibilité calorifique intérieure et le pouvoir émissif.

Les étoffes vestimentaires peuvent être comparées à un mur indéfini, dont l'une des faces, celle qui est la plus rapprochée de la peau, est à une température plus

élevée que l'autre ; les températures des couches intermédiaires entre les deux faces sont données par la règle de Fourier (1) ; c'est-à-dire que, quand le régime permanent est établi, les tranches de l'étoffe, dont les distances à la face la plus chaude croissent suivant une progression arithmétique dont la raison est égale à 1, ont des températures qui décroissent suivant une progression arithmétique de raison égale à

$$\frac{t - t'}{e}$$

$t - t'$ étant la différence de température entre les deux faces de l'étoffe et e son épaisseur. Cette chaleur qui s'est propagée par conductibilité à l'intérieur du tissu vestimentaire, ne reste pas accumulée à son intérieur puisque le régime permanent s'établit ; il faut donc que la face dont la température est la plus basse, la face extérieure, perde dans le milieu ambiant toute la chaleur qui lui vient de la face intérieure et qu'elle gagne par un mécanisme de conductibilité intérieure. La chaleur ainsi rayonnée dans le milieu ambiant par la face externe des étoffes varie, toutes choses égales d'ailleurs, avec la nature de l'étoffe considérée.

De ces considérations générales, il ressort qu'il y a dans la manière dont se comportent les vêtements vis-à-vis de la chaleur, deux choses fort distinctes à envisager, d'abord la *conductibilité calorifique intérieure*, c'est-à-dire la transmission lente de la chaleur de proche en proche dans l'intérieur des tissus par l'intermédiaire des

(1) Fourier. — « Mémoires de l'Académie des Sciences ». t. IV et V, 1812 et « Théorie analytique de la chaleur », Paris, 1822.

molécules matérielles, ensuite le *pouvoir émissif* ou *rayonnement*.

Nous aurons donc à étudier : 1° successivement la conductibilité calorifique intérieure ; 2° le pouvoir émissif.

§ 2. — *De la conductibilité calorifique intérieure.*

D'après ce qui précède, il était indispensable d'étudier *séparément* la conductibilité calorifique intérieure des tissus employés pour la confection des vêtements et d'autre part leur pouvoir émissif.

Dès le début de l'année 1897, nous avons étudié la conductibilité calorifique intérieure des étoffes de laine en usage dans l'infanterie : M. le docteur Bordier, professeur agrégé, dirigeait nos recherches. Une partie des résultats furent communiqués au Congrès de l'Association française pour l'avancement des sciences tenu à Nantes en août 1898 (1).

Depuis cette communication, nous avons fait des recherches sur la conductibilité calorifique des draps n° 2 ; nous avons de plus recherché le coefficient de conductibilité des étoffes par rapport à l'air.

Le procédé que nous avons employé pour cela est basé sur le problème de la barre et la loi de Despretz.

Soit une barre prismatique, assez mince pour que les points d'une même section transversale soient, au même moment, à la même température et assez longue pour

(1) MM. Bordier et Kolb. — Congrès de Nantes août, 1898.

que l'une de ses extrémités étant maintenue à une température constante, considérons l'autre extrémité restée à la température du milieu ambiant et des points pris sur cette barre à des distances de la source croissant en progression arithmétique ; nous savons que les températures de ces points décroissent en progression géométrique.

Si donc nous prenons comme abscisses les distances, et comme ordonnées les températures, nous remarquons que la ligne des températures décroît suivant une certaine courbe.

Mais sur une *petite longueur*, ainsi que cela ressort des recherches de MM. Van Aubel et Paillot (1), on peut considérer cette ligne de descènte *comme droite*.

Partant de ce principe, M. Bordier (2) a imaginé un procédé pour rechercher la conductibilité calorifique des corps organiques.

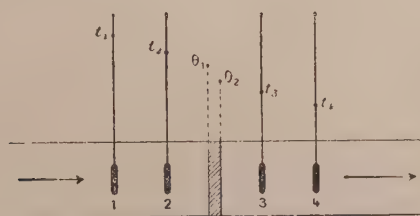


FIGURE 1

Si, en un point quelconque nous sectionnons la barre et que nous interposions une rondelle très mince

(1) MM. Van Aubel et Paillot. — Sur la mesure des températures par les couples thermo-électriques. « Archives des Sciences physiques et naturelles de Genève », p. 148, planche III, 1895.

(2) H. BORDIER. — « Archives de physiologie », janvier 1898.

du tissu à étudier, l'équilibre de température dans les deux segments sera détruit. Le tissu opposera une résistance à la propagation de la chaleur, résistance que l'on pourra évaluer par la différence de température des deux faces de la rondelle. Pour avoir ces températures θ_1 et θ_2 , il suffira, sur chaque segment de prendre les températures de deux points voisins de l'extrémité en rapport avec le tissu à étudier et très peu distants l'un de l'autre : soit t_1 et t_2 les températures des points 1 et 2 du segment de la barre en rapport avec la source de chaleur, et t_3 , t_4 , celles des points 3 et 4 du segment libre (fig. 1).

Par ces points, (fig. 2) menons des perpendiculaires, dont les hauteurs respectives sont données par les indications thermométriques, soit 1 a, 2 b, 3 e, 4 f ces hauteurs.

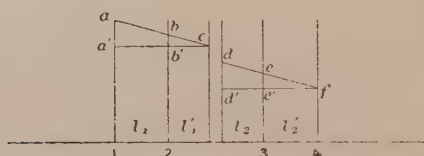


FIGURE 2

Joignons a et b et prolongeons la ligne vers l'extrémité libre de la barre en contact avec le tissu : elle viendra couper la perpendiculaire élevée à cette extrémité libre au point c. Menons également par c et f une ligne vers l'extrémité du segment mobile de la barre située du côté de la source de chaleur, cette ligne coupera au point d la perpendiculaire élevée à cette extrémité. Par les points c et f menons des parallèles à la barre horizontale. Elles détermineront des triangles semblables aa'c, bb'c ; dd'f, ee'f, avec lesquels nous avons les proportions sui-

vantes, en désignant les distances a'b' par l_1 , b'e par l'_1 , d'e' par l_2 , e'f par l'_2 :

$$\frac{aa'}{l_1 + l'_1} = \frac{bb'}{l'_1}$$

et

$$\frac{dd'}{l_2 + l'_2} = \frac{ee'}{l'_2}$$

En remplaçant dans ces proportions aa', bb', dd' et ee' par leurs valeurs en fonctions de t_1 , t_2 , t_3 , t_4 , les distances inconnues de c et d à la barre étant θ_1 et θ_2 , nous obtenons :

$$\frac{t_1 - \theta_1}{l_1 + l'_1} = \frac{t_2 - \theta_1}{l'_1} \quad (1)$$

et

$$\frac{\theta_2 - t_4}{l_2 + l'_2} = \frac{t_3 - t_4}{l'_2} \quad (2)$$

De la première équation nous tirons

$$\theta_1 = \frac{t_2 (l_1 + l'_1) - t_1 l'_1}{l_1}$$

De la seconde

$$\theta_2 = \frac{t_3 (l_2 + l'_2) - t_4 l'_2}{l_2}$$

Or, dans l'appareil dont nous nous sommes servi,

$$l_1 = l'_2 = 17^{\text{mm}}$$

et

$$l'_1 = l_2 = 10^{\text{mm}}$$

En remplaçant, nous avons :

$$\theta_1 = \frac{27 t_2 - 10 t_1}{17}$$

$$\theta_2 = \frac{27 t_3 - 10 t_4}{17}$$

Tel est le principe, voyons l'appareil. (fig. 3.)

Il se compose d'une étuve cylindrique en cuivre rouge, remplie d'eau maintenue à une température constante par un régulateur à mercure (R). Une mince couche d'huile de vaseline est étendue à la surface de l'eau pour empêcher la vaporisation. Le couvercle en cuivre rouge

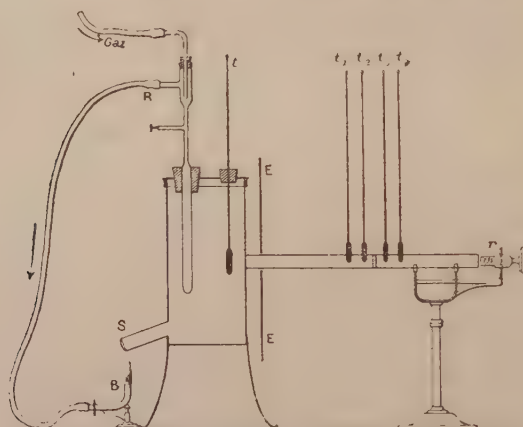


FIGURE 3

R : Régulateur de température. — t : thermomètre de l'étuve.

E : Ecran. — B : Bec de gaz. — r : ressort.

t_1, t_2, t_3, t_4 , thermomètres de la barre.

est percé de deux ouvertures destinées, l'une au passage d'un thermomètre t , l'autre à celui du régulateur de température. Brasé à la partie inférieure de l'étuve et dirigé obliquement en bas, est un cylindre de cuivre (S), servant de thermo-siphon. Sa partie supérieure communique avec l'intérieur de l'étuve, sa partie inférieure est fermée : un bec de gaz brûle au-dessous.

Suivant une des génératrices de l'étuve et au milieu de sa hauteur, est brasée une barre cylindrique de cui-

vre rouge nickelée de 12 centim. de long. et de 17 millim. 7 de diamètre (246 millim. carrés de section). Sur la génératrice supérieure de cette barre à 27 et 10 millim. de son extrémité *libre*, sont forés deux petits puits surmontés chacun d'un tube en cuivre rouge de même diamètre.

Dans le prolongement de cette première barre s'en trouve une seconde mobile sur deux demi-anneaux en liège, mauvais conducteurs de la chaleur. Deux puits sont également forés sur la génératrice supérieure à 10 et 27 millim. de l'extrémité regardant l'étuve. Sur l'autre extrémité vient s'appuyer un ressort (r) à boudin, qui permet d'appliquer, avec toujours la même pression, cette barre contre la première par l'intermédiaire du tissu étudié.

Quand l'intervalle entre les deux barres est de 1 millim. la pression est égale à 20 grammes, ce qui fait par millimètre carré une pression de 81 milligr., assez faible pour ne pas faire varier la texture du tissu. Dans nos déterminations, faites sur des étoffes dont l'épaisseur varie de 1 millim. 5 à 3 millim. 5, nous ne nous sommes pas servi de l'action de ce ressort, nous verrons plus loin comment nous opérons.

Un écran en carton (E) empêche le rayonnement de l'étuve, vers le système à travers lequel se propagera la chaleur.

Dans les puits on a placé du mercure, où plongent des thermomètres sensibles au $1/10^{\circ}$ de degré,

Nous avons fait nos expériences dans les caves du laboratoire de Physique de la Faculté de Médecine de

Lyon, où la température sensiblement constante, varie de 10°5 à 11°.

A la suite d'une publication de M. Bordier (1) « sur la mesure comparative de la conductibilité des tissus de l'organisme », MM. Charrin et Guillemonat (2) ont publié un mémoire où ils préconisent une méthode différente pour rechercher cette conductibilité. Ils commencent par adresser au procédé de M. Bordier les reproches suivants : Ils trouvent 1°, qu'il est difficile d'obtenir un tissu organique sous une épaisseur d'un millimètre ; 2° que le tissu se dessèche ; 3° que la dilatation des tiges de cuivre pendant l'expérience comprime le tissu et qu'alors on expérimente sous une épaisseur inconnue.

Aussi ces auteurs pensent-ils mieux faire en opérant d'une autre façon. Leur dispositif comprend une cuve cylindrique en bois, ayant 8 centim. de haut et 3 centim. de diamètre intérieur. Un thermomètre en L, sensible au 1/20 de degré, est fixé à la cuve à 3 centim. de sa base supérieure.

On chauffe du mercure, on l'introduit dans le cylindre en quantité suffisante pour qu'il déborde et on recouvre le tout avec une plaque de tôle mince de façon que celle-ci soit directement en contact avec le mercure. Sur cette plaque, on place un fragment du tissu ayant la forme d'un cube de 4 centim. de côté. La température de la cuve étant au début de l'expérience de 44°, ces auteurs mesurent alors la variation de température correspondant

(1) H. Bordier. — « Archives de Physiologie », janvier, 1893.

(2) MM. CHARRIN et GUILLEMONAT. — « Archives de Physiologie », juillet 1898.

à chaque minute écoulée et c'est l'abaissement moyen de la température du mercure qui est pris pour mesure de la conductibilité du tissu étudié.

Demandons-nous si le dispositif de MM. Charrin et Guillemonat est apte à mesurer la conductibilité des tissus. Remarquons d'abord que ce n'est pas la conductibilité du tissu placé sur la plaque de tôle qui intervient le plus efficacement dans la quantité de chaleur perdue par le cube. La rapidité du refroidissement dépend de la chaleur spécifique de chaque tissu, comme le reconnaissent d'ailleurs les auteurs ; d'autre part, la quantité de chaleur rayonnée est liée au pouvoir émissif de chaque tissu et, en outre, l'abaissement de température indiqué par le thermomètre est dû, dans une certaine mesure, au froid produit par l'évaporation des liquides organiques à la surface du tissu étudié.

Cette surface, par laquelle se fait la perte de chaleur par rayonnement ainsi que par évaporation, est *considérable* ; en effet, chaque face du cube, taillé dans le tissu à étudier, a une superficie de 16 centim. carrés et comme il y a 5 faces en contact avec l'air ambiant, la surface totale par laquelle se font les pertes de chaleur est de 80 centim. carrés.

L'abaissement de température qui résulte de l'évaporation est assez considérable pour que la température du tissu oscille de 44° à 35° ; de plus, une autre cause intervient pour favoriser l'évaporation : c'est le courant d'air ascendant produit par l'échauffement de l'air par convection au contact du récipient. On comprend ainsi finalement que le dispositif de ces auteurs ne peut, en aucune façon, permettre de mesurer la conductibilité intérieure d'un tissu donné.

Voilà pour le côté physique de leur dispositif. Au point de vue physiologique, il y a également des critiques à adresser à cette manière d'opérer, car le pouvoir émissif et l'évaporation de l'eau au niveau des faces du cube organique, qui sont les deux causes les plus efficaces pour produire l'abaissement de température du mercure recouvert, n'interviennent plus quand ces tissus, reins, foie.... etc., sont à leur place dans l'organisme où ils ne sont plus exposés à l'air libre, comme dans les expériences de MM. Charrin et Guillemonat.

Quant aux critiques adressées à la méthode de M. Bordier, il nous est facile de les réfuter :

1° On peut, même à main levée, faire avec un rasoir des coupes de 1 millim. d'épaisseur. De plus, ce reproche, dans le cas qui nous occupe, n'a aucun intérêt pour nous : nous opérons sur des draps d'épaisseur donnée.

2° Dans les expériences de conductibilité faite par ta méthode que nous avons exposée, le tissu n'a pas le temps de se dessécher, car chaque opération ne demande que 20 à 30 minutes, et, de plus, cette dessiccation ne peut s'opérer que sur une surface excessivement restreinte qui est celle de la circonférence de chaque rondelle; quant aux couches intérieures du tissu elles conservent intégralement tout leur liquide, comme on le remarque en examinant le tissu après l'expérience.

3° Il est inutile de tenir compte d'une erreur qui n'existe pas. L'appareil marche d'une manière continue et quand on interpose le tissu le régime permanent est établi et par suite les tiges ont atteint leur maximum de dilatation.

Les troupes marchant par tous les temps, leurs vêtements sont tantôt secs, tantôt mouillés. Il sera nécessaire de rechercher la variation de leur conductibilité dans ces deux états.

Les différents draps sont pris sous l'épaisseur que chacun possède et l'on découpe dans chaque étoffe des rondelles ayant le diamètre de la barre. Puis, quand l'appareil marche depuis un certain temps et que le débit calorifique est constant, ce que l'on reconnaît par les indications thermométriques qui ne doivent plus varier, on interpose entre les deux segments de la barre la rondelle.

Pour maintenir chaque rondelle de drap entre les deux segments de cuivre, on approche le segment mobile de manière à établir un contact léger avec la face de l'étoffe et empêcher celle-ci de tomber.

Il faut environ de 20 à 30 minutes pour que l'équilibre thermique s'établisse, et que les indications fournies par les thermomètres t_3 et t_4 ne varient plus; on lit ces températures et on calcule θ_1 et θ_2 .

Voici maintenant quelques-uns de nos résultats.

ETOFFES SÈCHES

A. Draps d'officiers.

1° Drap rouge satin. Epaisseur $1^{\text{mm}}5$.

$$\begin{aligned} t_1 &= 38^{\circ}9, \quad t_2 = 38^{\circ}5, \quad t_3 = 14^{\circ}5, \quad t_4 = 14^{\circ}4 \\ \theta_1 &= 38^{\circ}2, \quad \theta_2 = 14^{\circ}55 \\ \theta_1 - \theta_2 &= 23^{\circ}65 \end{aligned}$$

2° Drap rouge ordinaire. $E = 2^{\text{mm}}$.

$$\begin{aligned} t_1 &= 38^{\circ}9, \quad t_2 = 38^{\circ}5, \quad t_3 = 14^{\circ}6, \quad t_4 = 14^{\circ}5 \\ \theta_1 &= 38^{\circ}2, \quad \theta_2 = 14^{\circ}65 \\ \theta_1 - \theta_2 &= 23^{\circ}55 \end{aligned}$$

3° Tricotine rouge. E = 3^{mm}5.

$$t_1 = 39^{\circ}3, t_2 = 38^{\circ}9, t_3 = 12, t_4 = 11^{\circ}9$$

$$\theta_1 = 38^{\circ}6, \theta_2 = 12^{\circ}05$$

$$\theta_1 - \theta_2 = 26^{\circ}55$$

4° Drap noir. Tunique. E = 1,5.

$$t_1 = 39^{\circ}2, t_2 = 38^{\circ}8, t_3 = 14^{\circ}2, t_4 = 14^{\circ}1$$

$$\theta_1 = 38^{\circ}5, \theta_2 = 14^{\circ}25$$

$$\theta_1 - \theta_2 = 24^{\circ}25$$

A. *Drap de sous-officiers.*

Drap rouge. E = 2^{mm}.

$$t_1 = 39^{\circ}4, t_2 = 39^{\circ}, t_3 = 13^{\circ}8, t_4 = 13^{\circ}7$$

$$\theta_1 = 38^{\circ}7, \theta_2 = 13^{\circ}85$$

$$\theta_1 - \theta_2 = 24^{\circ}85$$

C. *Draps de soldat.*

1° Drap rouge n° 1. E. 2^{mm}.

$$t_1 = 39^{\circ}6, t_2 = 39^{\circ}2, t_3 = 14^{\circ}2, t_4 = 14^{\circ}1$$

$$\theta_1 = 38^{\circ}9, \theta_2 = 14^{\circ}25$$

$$\theta_1 - \theta_2 = 24^{\circ}65$$

2° Drap gris bleu, capote n° 1. E = 2^{mm}.

$$t_1 = 39^{\circ}4, t_2 = 39^{\circ}, t_3 = 14^{\circ}1, t_4 = 14^{\circ}$$

$$\theta_1 = 38^{\circ}7, \theta_2 = 14^{\circ}15$$

$$\theta_1 - \theta_2 = 24^{\circ}55$$

3° Drap bleu foncé, tunique. E = 2^{mm}.

$$t_1 = 39^{\circ}2, t_2 = 38^{\circ}8, t_3 = 13^{\circ}6, t_4 = 13^{\circ}5$$

$$\theta_1 = 38^{\circ}5, \theta_2 = 13^{\circ}65$$

$$\theta_1 - \theta_2 = 24^{\circ}85$$

4° Drap rouge, pantalon n° 2. E = 1^{mm}5.

$$t_1 = 39^{\circ}1, t_2 = 38^{\circ}7, t_3 = 15^{\circ}8, t_4 = 15^{\circ}7$$

$$\theta_1 = 38^{\circ}4, \theta_2 = 15^{\circ}85$$

$$\theta_1 - \theta_2 = 22^{\circ}55$$

5° Drap gris bleu, capote n° 2. E = 2^{mm}.

$$t_1 = 38^{\circ}6, t_2 = 38^{\circ}2, t_3 = 14^{\circ}4, t_4 = 14^{\circ}3$$

$$\theta_1 = 37^{\circ}9, \theta_2 = 14^{\circ}45$$

$$\theta_1 - \theta_2 = 23^{\circ}45$$

Nous avons fait ensuite une seconde série d'expériences, les rondelles ayant séjournées sous l'eau pendant 24 heures, et égouttées pendant une minute, nous avons obtenus les résultats suivants :

ETOFFES MOUILLÉES

A. Draps d'officiers.

1° Drap rouge, satin. E = 1^{mm}5.

$$t_1 = 38^{\circ}1, t_2 = 37^{\circ}7, t_3 = 17^{\circ}5, t_4 = 17^{\circ}4$$

$$\theta_1 = 37^{\circ}4, \theta_2 = 17^{\circ}55$$

$$\theta_1 - \theta_2 = 19^{\circ}85$$

2° Tricotine rouge. E = 3^{mm}5.

$$t_1 = 39^{\circ}9, t_2 = 39^{\circ}5, t_3 = 17^{\circ}2, t_4 = 17^{\circ}1$$

$$\theta_1 = 39^{\circ}2, \theta_2 = 17^{\circ}25$$

$$\theta_1 - \theta_2 = 21^{\circ}95$$

B. Draps de soldat.

1° Drap rouge n° 1. E = 2^{mm}.

$$t_1 = 38^{\circ}, t_2 = 37^{\circ}6, t_3 = 15^{\circ}1, t_4 = 15^{\circ}$$

$$\theta_1 = 37^{\circ}3, \theta_2 = 15^{\circ}15$$

$$\theta_1 - \theta_2 = 22^{\circ}15$$

2° Drap gris bleu, capote n° 1. E = 2^{mm}.

$$t_1 = 38^{\circ}3, t_2 = 37^{\circ}9, t_3 = 15^{\circ}8, t_4 = 15^{\circ}7$$

$$\theta_1 = 37^{\circ}6, \theta_2 = 15^{\circ}85$$

$$\theta_1 - \theta_2 = 21^{\circ}75$$

3° Drap bleu foncé, tunique. $E = 2^{\text{mm}}$.

$$t_1 = 38^{\circ}7, t_2 = 38^{\circ}3, t_3 = 18^{\circ}2, t_4 = 18^{\circ}1$$

$$\theta_1 = 38^{\circ}, \theta_2 = 18^{\circ}25$$

$$\theta_1 - \theta_2 = 19^{\circ}75$$

4° Drap rouge, pantalon n° 2. $E = 1^{\text{mm}}5$.

$$t_1 = 35^{\circ}9, t_2 = 35^{\circ}5, t_3 = 11^{\circ}7, t_4 = 21^{\circ}6$$

$$\theta_1 = 35^{\circ}2, \theta_2 = 21^{\circ}75$$

$$\theta_1 - \theta_2 = 13^{\circ}45$$

5° Drap bleu gris, capote n°2. $E = 2^{\text{mm}}$.

$$t_1 = 37^{\circ}7, t_2 = 37^{\circ}3, t_3 = 17^{\circ}4, t_4 = 17^{\circ}3$$

$$\theta_1 = 37^{\circ}, \theta_2 = 17^{\circ}65$$

$$\theta_1 - \theta_2 = 19^{\circ}55$$

Telles sont les différences de température que l'on observe entre les deux faces des étoffes. Ces différences à la rigueur sont suffisantes et permettent déjà de tirer des conclusions et d'établir une classification. Mais il est plus scientifique de déterminer, pour chaque étoffe, son coefficient de conductibilité calorifique relative, que nous pouvons prendre par rapport à l'air. Il nous suffit de chercher les valeurs de θ_1 et θ_2 quand l'étoffe est remplacée par une couche d'air d'égale épaisseur. Nous obtenons ainsi les valeurs θ'_1 et θ'_2 .

Si nous représentons par c et c' les coefficients de conductibilité respectives des étoffes et de l'air, nous obtenons comme valeur du coefficient de conductibilité relative C

$$C = \frac{c}{c'}$$

Ce rapport est plus grand que 1, car la conductibilité des étoffes est plus grande que celle de l'air. Comme la

différence de température est inversement proportionnelle à la conductibilité calorifique, nous pouvons écrire :

$$C = \frac{c}{c'} = \frac{\theta'_1 - \theta'_2}{\theta_1 - \theta_2}$$

Pour obtenir le coefficient de conductibilité relative des étoffes, il nous suffira donc de diviser par la différence de température $\theta_1 - \theta_2$ des faces d'une étoffe, la différence $\theta'_1 - \theta'_2$ obtenue avec une couche d'air égale à l'épaisseur de l'étoffe étudiée.

Les étoffes que nous avons étudiées correspondent à trois épaisseurs, 1 millim. 5, 2 millim., 3 millim. 5. Si nous cherchons la différence de température, $\theta'_1 - \theta'_2$, nous obtenons

Couche d'air d'épaisseur de 3^{mm}5.

$$t_1 = 38^{\circ}8, t_2 = 38^{\circ}4, t_3 = 11^{\circ}1, t_4 = 11^{\circ}$$

$$\theta'_1 = 38^{\circ}1, \theta'_2 = 11^{\circ}15$$

$$\theta'_1 - \theta'_2 = 26^{\circ}95$$

Couche d'air d'épaisseur de 2^{mm}.

$$t_1 = 38^{\circ}4, t_2 = 38^{\circ}, t_3 = 11^{\circ}9, t_4 = 11^{\circ}8$$

$$\theta'_1 = 37^{\circ}7, \theta'_2 = 11^{\circ}95$$

$$\theta'_1 - \theta'_2 = 25^{\circ}75$$

Couche d'air d'épaisseur de 1^{mm}5.

$$t_1 = 39^{\circ}2, t_2 = 38^{\circ}8, t_3 = 12^{\circ}2, t_4 = 12^{\circ}1$$

$$\theta'_1 = 38^{\circ}5, \theta'_2 = 12^{\circ}25$$

$$\theta'_1 - \theta'_2 = 15^{\circ}25$$

Remarquons que ces résultats sont conformes à la théorie, car plus l'épaisseur de la couche d'air croît, plus la différence $\theta'_1 - \theta'_2$ croît, et plus la conductibilité décroît :

Le tableau suivant donne les résultats obtenus :

$C = \frac{c}{c'}$ correspond aux étoffes sèches, $C_1 = \frac{c_1}{c'_1}$
aux étoffes mouillées.

DÉSIGNATION DES ÉTOFFES	$\frac{c}{c'}$	$\frac{c_1}{c'_1}$
Drap rouge ordinaire, officier.....	1.093	»
— — satin —	1.067	1.272
Tricotine rouge.....	1.015	1.227
Tunique officier.....	1.044	»
Drap rouge, sous-officier.....	1.036	»
Drap rouge, soldat, n° 1.....	1.047	1.162
— — — n° 2.....	1.115	1.877
Capote bleu-gris, n° 1.....	1.048	1.184
— — — n° 2.....	1.093	1.317
Tunique soldat.....	1.036	1.303

Conclusions. — Les déterminations expérimentales qui précèdent montrent 1° que la conductibilité calorifique intérieure des vêtements est moins grande quand ils sont secs que quand ils sont mouillés ; 2° que les étoffes vieilles conduisent mieux la chaleur que les neuves ; 3° celles de l'officier mieux que celles du soldat.

§ 3. — *Du pouvoir émissif.*

Après avoir étudié la conductibilité calorifique intérieure des étoffes de laines en usage dans l'infanterie, il nous faut rechercher comment varie une propriété bien différente de la première, le *pouvoir émissif* de ces mêmes étoffes.

On appelle pouvoir émissif d'un corps, la quantité de chaleur perdue, pendant l'unité de temps, par l'unité de surface de ce corps, quand la température de la surface rayonnante est supérieure de 1° centigrade à celle du milieu qui l'environne.

Au lieu de mesurer la quantité de chaleur qui correspond à la définition du pouvoir émissif des corps, on rapporte ordinairement le pouvoir émissif de ces corps à celui du noir de fumée représenté par 100.

De plus, au lieu de mesurer la quantité de chaleur rayonnée en calories, on utilise l'activité de cette chaleur émise par la surface des corps, sur une pile thermo-électrique dont le circuit est fermé sur un galvanomètre sensible : c'est la déviation indiquée par ce galvanomètre qui sert de mesure au pouvoir émissif relatif des différents corps.

La quantité de chaleur correspondant au pouvoir émissif, dépendant essentiellement de la température de la couche la plus superficielle du corps considéré : il est indispensable, lorsqu'on veut comparer entre eux les pouvoirs émissifs des différents corps, de placer cette couche superficielle toujours dans les mêmes conditions. L'effet produit par la chaleur rayonnée vers la pile thermo-électrique, c'est-à-dire la déviation du galvanomètre, n'aura une signification scientifique et précise que si la face des étoffes étudiées est placée toujours à la même température, le milieu ambiant conservant aussi la sienne constante. Dans ces conditions, la déviation galvanométrique sera bien proportionnelle aux différents pouvoirs émissifs, puisque l'on aura :

$$E = K (T - t)$$

E étant le pouvoir émissif d'une étoffe, T la température de sa surface rayonnante, t la température de l'air ambiant et K une constante dépendant de la nature de l'étoffe.

Ces considérations démontrent une fois de plus que les expériences de Coulier ne pouvaient prétendre à mesurer le pouvoir émissif, car si l'on cherchait le temps nécessaire à l'abaissement de température de 5° de l'eau du récipient, on ne tenait aucun compte de la variation de température de la face externe, la seule qui joue un rôle dans la chaleur rayonnée.

Toute autre est la méthode que nous avons employée et que nous allons exposer.

Méthode. — Pour rechercher le pouvoir émissif des étoffes, nous nous sommes servi d'une pile thermo-électrique de Melloni (bismuth et antimoine). La figure 4 schématise le dispositif de l'expérience.

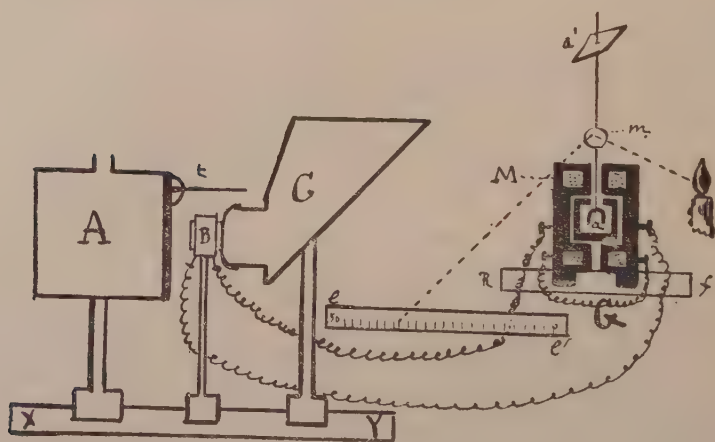


FIGURE 4

A : Cube de Leslie. — B : Pile thermo-électrique. — C : Récipient d'eau à 42° . — G : Boussole de Wiedemann. — M : Son multiplicateur. — R-f : sa règle — a : aimant en fer à cheval, — a' : aimant mobile. — m : miroir. — l-p : règle pour la lecture.

Sur la règle horizontale métallique X Y, se trouve fixée en A la source de chaleur qui est un cube de laiton, en B une pile thermo-électrique et en C un récipient que l'on remplit d'eau à 12° de façon à maintenir à une température constante la face de la pile opposée à celle qui regarde le cube de Leslie. La partie de ce récipient en contact avec la pile est formée par une membrane de caoutchouc qui, bombant sous la pression hydrostatique de l'eau, se trouve en contact intime avec le rebord de la monture en cuivre contenant la pile. On avait enlevé les étuis rectangulaires fixés par une vis à chacune des faces de la pile.

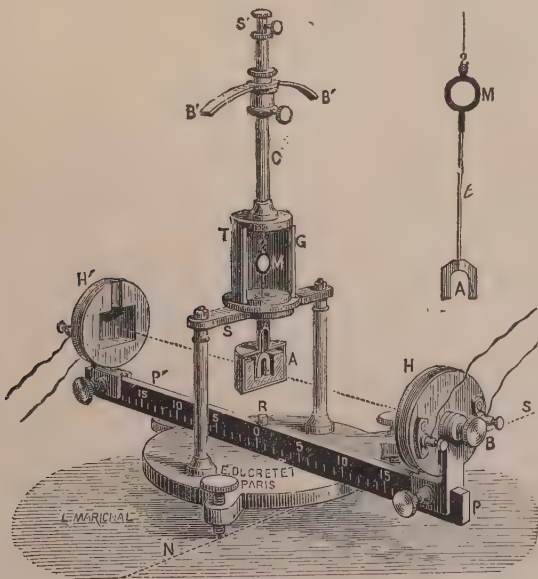


FIGURE 5

Boussole de Wedemann modifiée par le Pr d'Arsonval PP' règle en fer. — HH' : multiplicateur — A. cylindre en cuivre rouge où se trouve l'aimant en fer à cheval. M. Miroir. — BB' : aimant mobile. — S' poulie servant à mettre l'équipage mobile au repos.

Cette pile est reliée non avec le galvanomètre de Nobili, dont la sensibilité n'est pas assez grande et la lecture peu facile, mais avec la boussole de Wiedemann, modifiée par le Pr d'Arsonval.

La partie mobile de cette boussole, suspendue par un fil de cocon, se compose d'une tige de cuivre, présentant à la partie supérieure un petit miroir concave et à la partie inférieure un aimant en fer à cheval. Cet aimant se trouve enfermé dans un cylindre en cuivre rouge (A) situé au centre du multiplicateur. Celui-ci est formé par deux parties (H H'), reliées par un fil de cuivre et pouvant s'éloigner l'une de l'autre le long d'une règle de fer (P P'). Il importe que l'équipage mobile ne touche en aucun point les parties voisines. Le système est rendu astatique par un aimant (B'B') situé au-dessus de l'appareil et pouvant monter ou descendre de façon à modifier la sensibilité de la boussole.

On place à environ un mètre en avant de la boussole une règle 11" (fig. 4) graduée en centimètres et millimètres, portée par une tige. La partie de la tige soudée à la règle est élargie, percée au centre d'une ouverture quadrangulaire, avec réticule et derrière laquelle se trouve un miroir plan pouvant s'orienter dans tous les sens. Avec ce miroir, à travers l'orifice quadrangulaire, on fait tomber un faisceau lumineux sur le miroir de la boussole, lequel renvoie sur la règle l'image de l'ouverture et du réticule. Quand aucun courant ne passe, l'image doit être au zéro.

Revenons à l'expérience. On recouvre la face noircie du cube de Leslie par l'étoffe, puis l'on remplit ce cube d'eau à 50° et l'on place sur l'étoffe un thermomètre à

température locale (t. fig. 4). Quand ce thermomètre, dans sa descente, arrive à 35° , on approche à ce moment *seulement* le cube de la pile, et on met la face recouverte par l'étoffe, bien parallèle à la face de la pile. Ceci est important, car on sait que l'intensité des rayons calorifiques émis obliquement par une surface rayonnante dénuée de pouvoir réflecteur est proportionnelle au cosinus de l'angle que font ces rayons avec la normale à la même surface. On n'aurait donc ainsi qu'une partie des rayons émis et les résultats ne seraient pas comparables ; car il serait fort difficile d'incliner à l'œil le cube de façon que ces rayons émis fassent toujours le même angle avec la normale élevée à la surface de l'étoffe. Il faut donc que la face du cube et celle de la pile soient parallèles. De plus, dans nos recherches, la distance qui séparait la face de la pile de celle de l'étoffe, était de deux centimètres.

Aussitôt donc que le thermomètre à température locale marque 35° , on place le cube, on ferme le circuit, et l'on note la déviation du miroir. On n'attend pas pour lire la valeur de l'élongation galvanométrique que l'image ait pris sa position d'équilibre final ; ce qui ne se produirait au bout d'un certain temps pendant lequel la température du cube s'abaisserait. Comme on sait, depuis Melloni, que l'impulsion initiale de l'aiguille galvanométrique, et dans le cas présent, de l'image, est proportionnelle à la déviation finale, nous avons substitué l'observation des impulsions à celle des déviations. La durée de l'expérience est réduite au minimum.

Résultats. — Nous avons fait deux séries de recherches ;

la première portait sur les étoffes sèches, sortant d'un cristalliseur dont l'atmosphère était desséchée par du chlorure de calcium ; la seconde sur ces mêmes étoffes après un séjour de 24 heures sous l'eau. Nos résultats suivent.

Draps secs

Pantalon garance de soldat, n° 1	21.8
— — sous-officier.....	26.5
— — ordinaire, officier.....	24.9
— — satin, officier.....	19.8
Tricotine rouge.....	27.5
Capote, n° 1.....	26.5
Tunique: soldat.....	31.
— officier.....	29.
Pantalon de soldat, n° 2.....	26.5
Capote, n° 2.....	26.7

Draps mouillés

Pantalon garance de soldat, n° 1	27.5
— — ordinaire, officier.....	26.7
— — satin —	28.2
Capote, n° 1.....	27.2
Tunique : soldat.....	27.
— officier.....	26.7
Pantalon garance : soldat, n° 2.....	26.5
Capote, n° 2.....	27.4

Ces nombres représentent en centimètres l'élongation de la boussole. Or, comme nous cherchons le pouvoir émissif relatif au noir de fumée, nous avons mesuré pour ce dernier la déviation du rayon lumineux et nous l'avons trouvée égale à 35 cm. Si nous représentons par 100 le

pouvoir émissif du noir de fumée, nous aurons pour les étoffes sèches :

Tunique : soldat.....	88.5
— officier.....	82.8
Tricotine rouge.....	78.5
Capote, n° 2.....	76.2
Pantalon : soldat, n° 2.....	75.7
Capote, n° 1.....	75.7
Pantalon : sous-officier.....	72.8
Pantalon ordinaire : officier.....	71.
— soldat, n° 1.....	62.3
Pantalon satin : officier.....	56.5

Pour les étoffes mouillées on a :

Pantalon ordinaire : officier.....	80.5
— satin —	80.2
— soldat, n° 1.....	78.5
Capote, n° 2.....	78.5
Capote, n° 1.....	77.7
Tunique : soldat.....	77.1
— officier.....	76.5
Pantalon : soldat, n° 2.....	75.7

Conclusions. — En comparant ces résultats, nous remarquons que pour les étoffes sèches il y a des différences assez grandes variant de 88,5 pour la tunique du troupier, à 56,5 pour le pantalon satin de l'officier. Pour les étoffes mouillées, l'écart est beaucoup plus faible, de 80,5 à 75,7.

L'interposition de l'eau change donc le pouvoir émissif, elle tend à l'égaliser en l'augmentant légèrement.

Si on considère les draps rouges employés pour la confection des pantalons du soldat et de l'officier d'infanterie,

on constate que le pouvoir émissif du drap de soldat est moins grand que celui du drap d'officier, toutes choses égales d'ailleurs ; ce qui veut dire que dans les mêmes conditions, à conductibilité calorifique intérieure égale, à perméabilité gazeuse égale, le drap d'officier rayonne plus de chaleur dans le milieu ambiant.

Si on porte son attention sur les différents draps constituant les trois principaux vêtements du soldat, pantalon, capote, tunique, on remarque que le pouvoir émissif du drap de tunique est plus considérable que celui du drap de pantalon et que celui de la capote est intermédiaire aux deux précédents ; que, par conséquent, l'usage de la capote a sa raison d'être pendant la saison froide, non seulement à cause de sa mauvaise conductibilité intérieure, mais encore à cause de son pouvoir émissif plus faible que celui de la tunique.

Parmi les étoffes étudiées, il en est une qui se distingue par son faible pouvoir émissif : c'est le drap satin pour pantalon d'officier. La faible valeur de ce pouvoir émissif tient, pensons-nous, au lustrage particulier de cette étoffe. On sait que plus la surface d'un corps est polie, plus faible est son pouvoir émissif.

Nous remarquons encore que la couleur semble n'avoir aucune influence sur le pouvoir émissif.

D'après nos résultats, nous voyons que pour les étoffes sèches, les pouvoirs émissifs les plus forts sont ceux de la tunique du soldat et de celle de l'officier, de couleur très foncée. Mais la tricotine rouge a un pouvoir émissif plus grand que celui de la capote usagée, et le pantalon de soldat usagé a un pouvoir émissif plus grand que celui de la capote neuve.

On a, de plus, des expériences précises de Tyndall tendant à prouver que la couleur n'a aucune influence sur le pouvoir émissif.

Il prenait un cube de fer dont trois des faces étaient, l'une blanchie à la craie, l'autre rougie au carmin, la troisième noircie au noir de fumée. Il remplissait ce cube d'eau à 100°. Successivement, il présentait les trois faces à la pile et la déviation de l'aiguille galvanométrique était égale dans les trois cas. Le résultat était le même quand il revêtait ces trois faces de velours bleu, rouge, noir.

De plus, Melloni a trouvé pour le blanc de céruse un pouvoir émissif égal à celui du noir de fumée. Nous ne nous sommes occupé que de la chaleur obscure. Il en est tout autrement pour la chaleur lumineuse, question que nous n'avons pas abordée dans ce travail, mais qui fera plus tard, de notre part, l'objet de recherches et d'expériences.

Si la couleur n'a aucune influence sur le pouvoir émissif, l'usure semble en avoir. Pour les étoffes sèches, en effet, la capote et le pantalon n° 2 ont un pouvoir émissif supérieur à celui de la capote et du pantalon n° 1.

Pouvoir absorbant. — Nous avons dit plus haut que le pouvoir émissif était égal au pouvoir absorbant. Leslie, le premier, a démontré cette loi, confirmée ensuite par Melloni; elle fut admise pendant longtemps comme générale, mais Kirchhoff y a ajouté les deux restrictions suivantes :

1° Il faut, pour comparer le pouvoir absorbant d'un

corps à son pouvoir émissif, que la température soit la même dans les deux cas.

2° Que la chaleur absorbée et celle émise soient de même nature ; toutes deux obscures, toutes deux lumineuses.

Nous avons cherché pour trois étoffes seulement, le pouvoir absorbant. Nous plaçons l'étoffe bien tendue contre une des faces de la pile.

Après avoir enduit de noir de fumée un des côtés du cube de Leslie, nous remplissons celui-ci d'eau à 40°, c'est quand le thermomètre, à température locale, que nous avons mis en contact avec la face du cube recouverte de noir de fumée, marquant 35°, nous approchons ce cube à deux centimètres de la pile, la face noircie, en regard et bien parallèle à l'étoffe. Nous notions alors, sur la règle, l'impulsion de l'image.

Nous avons obtenu les résultats suivants :

Etoffes sèches

Pantalon de soldat, n° 2.....	26.3
Capote, n° 1.....	26.4

Etoffes mouillées

Capote, n° 1.....	27.
-------------------	-----

Ce qui fait par rapport à l'absorption du noir de fumée qui est de 100.

Etoffes sèches

Pantalon de soldat, n° 2.....	75.1
Capote, n° 1.....	75.4

Etoffe mouillée

Capote, n° 1.....	77.1
-------------------	------

Si nous comparons ces chiffres à ceux du pouvoir émissif, nous voyons qu'ils diffèrent peu.

Pour le pantalon n° 2, sec, on a en effet :

Pouvoir émissif.....	75.7
— absorbant.....	75.1

Pour la capote n° 1, sèche.

Pouvoir émissif.....	75.7
— absorbant.....	75.4

Pour la capote n° 1, mouillée.

Pouvoir émissif.....	77.7
— absorbant.....	77.1

En présence de ces résultats, nous nous croyons autorisé à dire que, pour les étoffes de laine employées pour l'habillement du soldat, à la même température, la source de chaleur étant obscure, le pouvoir absorbant est égal au pouvoir émissif.

CHAPITRE II

Etude expérimentale de la perméabilité gazeuse des étoffes.

Nous venons d'étudier dans le chapitre précédent la conductibilité calorifique intérieure et le pouvoir émissif des étoffes de laine employées pour habiller le soldat, arrivons maintenant à leur *perméabilité gazeuse*. Cette propriété physique joue un rôle important dans l'hygiène des vêtements. Il faut que ceux-ci soient, par n'importe quel temps, le siège d'une circulation gazeuse, permettant l'évaporation de la sueur qui se trouve à la surface du corps ; s'il n'en était pas ainsi, le *coefficient de partage thermique* de d'Arsonval (rapport entre la quantité de chaleur perdue par la peau et celle perdue par les poumons), serait changé : on éprouverait la *polypnée thermique* de Richet, comme les animaux dépourvus de glandes sudoripares ; la régulation thermique ne pouvant plus se faire, nous éprouvons un malaise. Tout le monde sait combien vite sont insupportables les vêtements en caoutchouc. Cela tient à l'immobilisation de la couche d'air comprise entre la peau et le tissu caoutchouté, et à la non évaporation de la sueur, qui est rendue impossible par

la saturation de cet air immobilisé par la vapeur d'eau.

La perméabilité gazeuse des étoffes a déjà été étudiée à plusieurs reprises. Pettenkofer (1), médecin militaire allemand, fit en 1865 des recherches sur la mesure de cette perméabilité. Il se servait de tubes en verre de même section (1 cent. carré); à l'une des extrémités étaient fixées les étoffes, l'autre était reliée à un gazomètre. On notait la quantité d'air qui passait en un temps donné. En une minute, sous une pression de 4 centim. d'eau, une surface de 28 millim. carrés laissait passer :

Toile.....	6 litres 030 d'air
Flanelle.....	10 — 410 —
Soie.....	4 — 140 —
Gants glacés	0 — 150 —

Et en prenant la perméabilité de la flanelle égale à 100, il obtient :

Flanelle	100
Toile	58
Drap fort.....	58
Peau de daim.....	51
Soie	40
Peau glacée.....	4

L'auteur allemand remarqua également que moins une étoffe renfermait d'air entre ses mailles, plus vite elle séchait, ce qui, par conséquent, entraîne la production d'un froid plus grand. Dans un vêtement de laine mouillé on n'éprouve aucune sensation d'abaissement brusque de température alors que dans un vêtement en coutil on éprouve cette sensation.

(1) PETTENKOFER. — Über der Funktion der Kleider, « Zeitschrift für Biologie », 1865.

Depuis les recherches de Pettenkofer plusieurs auteurs ont repris cette étude importante surtout au point de vue de l'hygiène militaire.

Schuster (1), en 1888, insiste sur l'influence de l'air retenu dans nos vêtements sur leur conductibilité calorifique.

La même année, un travail important fut publié par un médecin militaire allemand, Hiller (2), dans lequel il compare la perméabilité des étoffes mouillées à celle des étoffes sèches. La méthode dont il s'est servi est celle de Pettenkofer. Il opère sous une pression de 28 centim. d'eau. Il montre d'une manière précise que l'eau rend les étoffes moins perméables. Voici quelques uns de ses résultats :

	Étoffes sèches	Mouillées	Différence
Manteau gris foncé de soldat....	54.77	14.9	39.87
Dœskin d'officier.....	48.41	2.9	45.51
Manteau gris de soldat.....	54.30	4.6	49.70
Tunique bleue de soldat.....	58.62	5.3	53.32
Pantalon de soldat.....	52.18	9.2	42.98

Lorenz (3) critiqua les résultats de Hiller, en 1890; d'après lui cet auteur avait opéré sous une trop forte pression.

(1) SCHUSTER. — « Arkiv für hygien », 1883.

(2) HILLER. — Untersuchungen über die Durchlässigkeit der Poros-wasserdichtstoffe für die militär Bekleidung. — « Deutsche militärärztliche Zeitschrift, » 1888.

(3) LORENZ. — Ueber die Durchlässigkeit wasserdichter stoffe zur Kleidung mit besonderer Berücksichtigung der Bekleidung der Soldaten. — « Der militärarzt », 1890, — terminé dans le numéro du 11 septembre 1891, p. 131.

Nous avons repris en 1897 cette étude sous la direction de M. le D^r Bordier, qui communiqua (1) les résultats obtenus au Congrès de l'*Association française pour l'avancement des sciences*, tenu en août 1897 à Saint-Etienne. Nous ne ferons que répéter ici, en ajoutant quelques nouvelles déterminations, ce qui a été publié dans le compte rendu du Congrès.

Méthode. — Notre manière d'opérer diffère un peu de celle employée par les auteurs qui nous ont précédés. Nous nous sommes servis d'un flacon de Mariotte.

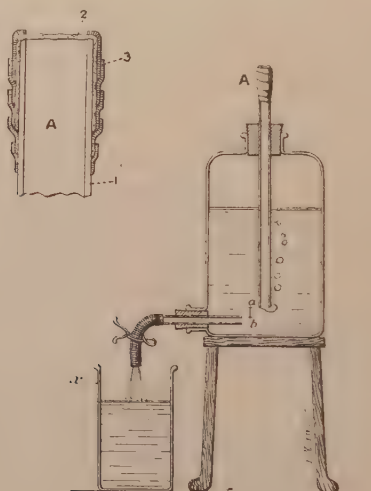


FIGURE 6.

A. Tube d'arrivée de l'air; extrémité supérieure.

(1, parois du tube, 2, étoffe, 3, bande de caoutchouc).

a-b- Hauteur de l'eau donnant la pression.

L'air aspiré traverse l'étoffe et passe sous une pression de 3 millim. d'eau. Cette pression, déterminée par la

(1) BORDIER. — Congrès de Saint-Etienne, août 1897.

hauteur, qui sépare la partie supérieure de tube d'écoulement de l'eau (a) de l'extrémité inférieure (b) du tube d'arrivée de l'air, n'est donc pas trop forte, malgré l'opinion de Lorenz (1) qui dit que pour se rapprocher de la réalité, il faudrait une pression de 0 millim. 04, pression de l'air par les mouvements respiratoires évaluée par Nocht (2).

On fixe l'étoffe que l'on étudie au tube d'arrivée de l'air (A) dont le diamètre intérieur est de 11,5 millim. On doit prendre toutes les précautions nécessaires pour que l'air qui passe dans l'appareil traverse forcément l'étoffe. Ceci est fort important. Il ne faut pas que l'air puisse passer entre les parois extérieures du tube et l'étoffe. Il suffit pour cela d'appliquer le tissu sur le tube, de le fixer avec une bande de caoutchouc de façon, que les tours en spire de la bande s'imbriquent les uns sur les autres, dépassent en bas l'étoffe et viennent se terminer sur le verre même ; de cette façon la fermeture est hermétique tout autour des bords de l'étoffe rabattus sur le tube (voir la coupe de la figure 6).

Pour avoir la perméabilité gazeuse du tissu, il suffira de mesurer le temps que met une quantité connue d'air pour traverser le tissu. Cette quantité sera donnée par un égal volume d'eau, sortie du flacon de Mariotte ; ce volume est de deux litres dans nos expériences.

Par ce procédé, nous avons une vitesse constante d'écoulement de l'eau. L'air traverse l'étoffe toujours avec la même pression et la même régularité.

(1) LORENZ. — Loc. cit.

(2) NOCHT. — Zeitschrift für Hygiene, 1883, p. 87.

Cette méthode est analogue à celle que le docteur Pommay (1) donne comme celle de Pettenkofer :

Les lignes qui suivent sont tirées de l'article de cet auteur : « Pettenkofer mesure la perméabilité d'un tissu à l'air en fixant solidement sur l'orifice très large d'un récipient rempli d'eau un morceau du tissu en expérience ; un robinet ouvert à la partie inférieure du récipient laisse l'eau s'écouler avec une rapidité d'autant plus grande que l'air pénètre plus facilement dans le flacon par les pores du tissu qui en ferme l'ouverture. Les chiffres indiquent le nombre de litres d'air qu'un mètre carré laisse passer à travers ses mailles en une seconde, sous une pression faible de 2 à 4 centimètres d'eau. »

Au début de nos recherches, nous avons contrôlé cette méthode et nous sommes arrivés aux conclusions suivantes.

Si l'on prend une surface d'étoffe supérieure à la section du tube d'écoulement (6) de l'eau, les résultats que l'on obtient sont relativement justes, tant que l'étoffe est peu perméable ; mais si la perméabilité du tissu augmente, on n'observe plus de différence dans le temps d'écoulement de l'eau. L'air passe avec la même rapidité, qu'il y ait ou qu'il n'y ait pas de drap à l'orifice d'entrée. Voici les résultats de quelques expériences.

(1) Dr POMMAY. — De l'imperméabilisation des vêtements. « Revue d'hygiène et de police sanitaire », 1891, page 1139.

Diamètres du tube d'entrée de l'air

	11 ^{mm} 5	21 ^{mm} 5	44 ^{mm}
	—	—	—
Aucune étoffe.....	27 secondes	27 secondes	27 secondes
Drap gris bleu capote....	51 —	27 —	27 —
Drap de tunique de soldat.	59 —	35 —	27 —
Drap de tunique officier..	93 —	43 —	27 —

Ces résultats démontrent que si la surface du drap à travers lequel passe l'air est trop grande par rapport à la section du tube d'écoulement de l'eau, il arrive un moment où cet écoulement a lieu sans que la perméabilité de l'étoffe intervienne. Aussi, pour éviter cette cause d'erreur, avons-nous pris la section du tube d'arrivée de l'air égale à celle d'écoulement de l'eau (11 millim. 5).

Nous avons fait trois séries d'expériences. La première avec des draps placés au même état hygrométrique que l'air ambiant, dont le degré d'humidité, mesuré avant chaque expérience avec l'hygromètre d'Alluard, variait de 0,48 à 0,55.

La seconde série fut faite avec des draps ayant séjourné 24 heures dans une chambre humide à 26-30°. On se rapprochait ainsi des conditions où se trouvent les vêtements d'un homme en transpiration.

La dernière série fut faite avec des draps ayant séjourné 24 heures sous l'eau.

Coefficient de perméabilité gazeuse. — En lisant les écrits des auteurs qui ont traité cette question avant nous, nous avons remarqué que leurs résultats expérimentaux étaient donnés en chiffres bruts représentant la quantité

d'air qui traverse l'étoffe. La pression, le temps variant d'un auteur à l'autre, les nombres représentant la quantité d'air varient également, et donnent une faible idée de la perméabilité gazeuse des étoffes. Aussi avons-nous cru préférable d'exprimer cette perméabilité d'une façon plus générale, par l'emploi d'un coefficient.

Le coefficient K de perméabilité gazeuse d'une étoffe sera le rapport existant entre le volume d'air V_e qui passe par le tube d'aspiration en traversant l'étoffe et le volume V_a qui passe par le même tube sans étoffe. Nous écrivons donc :

$$K = \frac{V_e}{V_a}$$

Il est évident qu'on a la valeur maximum de K quand $V_e = V_a$.

Remarquons qu'ici la pression n'intervient plus, mais faut-il encore qu'elle soit la même pour V_e et V_a . Ceci est facile par l'emploi du flacon de Mariotte.

Au lieu de mesurer les volumes V_e et V_a qui passent en un temps donné, ce qui est assez délicat, nous avons préféré rechercher le temps qu'il faut pour le passage d'un volume déterminé d'air.

Le rapport $\frac{V_a}{V_e}$ n'est nullement changé.

Soit t le temps nécessaire pour le passage d'un volume V d'air à travers l'étoffe et t' celui nécessaire au passage du même volume d'air sans étoffe interposée, nous aurons :

$$V_e = \frac{V}{t}$$

et

$$V_a = \frac{V}{t'}$$

la valeur de K deviendra alors

$$K = \frac{V_e}{V_a} = \frac{\frac{V}{t}}{\frac{V}{t'}} = \frac{V}{t} \times \frac{t'}{V} = \frac{t'}{t}$$

Pour obtenir le coefficient K, il nous suffira de diviser le temps t' constant par les temps t variables avec chaque étoffe.

I. — Voici les nombres trouvés pour les étoffes dont l'état hygrométrique est le même que celui de l'air ambiant.

DESIGNATION DES ÉTOFFES	Epaissr	TEMPS nécessaire au passage de 2lit. d'air	$\frac{t'}{t}$
	millim.	secondes	
Pas d'étoffe.....		27	1
Drap rouge soldat, n° 1.....	2	50	0.540
— — sous-officier.....	2	70	0.385
— — ordinaire, officier.....	2	109	0.248
— — satin.....	1.5	110	0.246
Tunique, soldat.....	2	59	0.458
— officier.....	4.5	93	0.289
Drap gris bleu, capote n° 1.....	2	51	0.532
Tricotine rouge.....	3.5	41	0.658
(Expériences faites en novembre 1898)			
Pas d'étoffe.....		35	1
Drap rouge soldat, n° 2.....	1.5	52	0.692
Drap gris bleu capote, n° 2.....	2	57	0.614
Capote n° 1 + doublure.....		74	0.473
Doublure de capote.....		70	0.500

Conclusions. — L'examen de ces résultats montre que les étoffes portées depuis un certain temps ont un coefficient de perméabilité *plus élevé* que celui des étoffes neuves ; que la doublure des capotes diminue leur coefficient d'environ $1/3$. Pettenkofer (1) avait déjà remarqué ce fait. D'après ce dernier, « quand on couvre le tube d'arrivée de l'air avec une double épaisseur de toile, la quantité d'air qui passe n'est pas diminuée de moitié, mais tout au plus d'un demi-litre, c'est-à-dire qu'au lieu de 6 litres il en passe $5 \frac{1}{2}$. »

Nous remarquons encore que les draps servant à confectionner les vêtements d'officiers ont un coefficient de perméabilité plus faible que ceux destinés à l'uniforme du troupiér. En hiver, l'officier aura plus froid, parce que l'air, mauvais conducteur, est en faible quantité dans les mailles des tissus et que ses vêtements sont plus serrés au corps. En été, il aura plus chaud, puisque la perméabilité gazeuse de ses vêtements étant moindre, l'évaporation de la sueur ne se fera pas si bien. Une seule étoffe d'officier offre d'excellentes conditions au point de vue que nous étudions, c'est la *tricotine* ; son épaisseur est de 3 millim. 5 et son coefficient de perméabilité, 0,658, est supérieur à celui des autres étoffes.

II. — Le vêtement, surtout chez le soldat, est soumis à l'humidité de l'air ambiant, il recouvre une surface qui est le siège d'une transpiration abondante. Nous nous sommes demandés ce que devenait la perméabilité des tissus avec les variations hygrométriques et en particulier quand ces tissus sont placés dans un milieu saturé par la vapeur d'eau.

(1) PETTENKOFER. — Loc cit.

Les auteurs qui nous ont précédés, n'ont étudié les étoffes que sèches ou mouillées après immersion dans l'eau. L'eau chasse l'air et est retenue dans les mailles par capillarité. La sueur ou l'humidité de l'air n'a pour effet que de gonfler les fibres textiles et de réduire alors le volume de l'air retenu dans les mailles.

Comme nous l'avons indiqué plus haut, les échantillons de nos différents draps ont été placés dans une chambre humide et y ont séjourné pendant 24 heures, la température étant de 26 à 30°. Après ce séjour, la saturation est complète, le coefficient de perméabilité ne changeant pas, si on augmente la durée de séjour dans la chambre humide.

Au sortir de la chambre humide, les étoffes étaient fixées rapidement au tube d'aspiration et l'expérience faite le plus vite possible. Nous avons obtenu les résultats suivants.

DÉSIGNATION DES ÉTOFFES	Epaissr millim.	TEMPS nécessaire au passage de 2 lit. d'air	$\frac{t'}{t}$
		secondes	
Pas d'étoffe.....		27	1
Drap rouge, soldat, n° 1.....	2	76	0.355
— — sous-officier.....	2	99	0.273
— — ordinaire, officier.....	2	144	0.178
— — satin, officier.....	1.5	156	0.164
Tunique soldat.....	2	70	0.383
— officier.....	1.5	128	0.221
Drap gris bleu, capote n° 1.....	2	62	0.441
Tricotine rouge.....	3.5	57	0.474
(Expériences de novembre 1898).			
Pas d'étoffe.....		35	1
Drap rouge, soldat n° 2.....	1.5	64	0.547
— gris bleu, capote n° 2.....	2	72	0.486
Capote + doublure.....		112	0.343

Conclusions. — On voit donc que pour tous les draps la perméabilité est diminuée. Pour les capote et pantalon, nous avons :

	SECS	HUMIDES
	—	—
Capote n° 1.	0.532	0.441
Pantalon n° 1.	0.540	0.355

Nous remarquons que la capote, moins perméable à l'état sec que le pantalon, l'est plus que lui à l'état humide. Si nous faisons de plus la moyenne des résultats obtenus pour les étoffes neuves sèches du soldat et de l'officier et pour les étoffes humides, nous avons :

	K	K'
	—	—
Officier	0.268	0.133
Soldat	0.510	0.398

En calculant le rapport $\frac{K'}{K}$ nous obtenons les valeurs suivantes :

$$\begin{aligned} \text{Officier} \quad \frac{0.133}{0.268} &= \frac{1}{2} \\ \text{Soldat} \quad \frac{0.398}{0.510} &= \frac{3}{4} \text{ environ.} \end{aligned}$$

D'une autre manière, si nous représentons par 100 la perméabilité des vêtements du soldat et de l'officier à l'état sec à l'état humide, elle sera, de 75 pour les vêtements du soldat et de 50 pour ceux de l'officier.

Nous remarquons également que la perméabilité de la capote doublée qui à l'état sec est de 0.473, est à la perméabilité du drap de capote seul (0.532) comme 6 est à 7. Quand le drap de capote avec la doublure et le

drap de capote seuls sont humides, ce rapport est de 4 à 7.

III. *Draps mouillés*. — Nous avons fait ensuite des recherches sur les draps ayant séjourné 24 heures sous l'eau, puis secoués et exprimés fortement entre des feuilles de papier buvard. Ces draps placés à l'extrémité du tube de notre appareil (fig. 6) ne se laissent pas traverser par l'air :

Dans ces conditions, l'air rentre par le tube d'écoulement de l'eau. Nous pouvons donc en conclure alors que

$$K = 0$$

pour une pression de 3 millimètres.

CHAPITRE III

Manière dont se comportent les étoffes vis-à-vis de l'eau.

Nous venons de voir que la vapeur d'eau et l'eau elle-même retenues par les vêtements rendaient ces derniers meilleurs conducteurs de la chaleur, augmentaient en général leur pouvoir émissif, diminuaient notablement leur perméabilité gazeuse et la supprimaient même. Le troupier porteur de vêtements mouillés se trouve donc dans des conditions défavorables pour lutter, par les temps froids, contre la déperdition de chaleur et par les temps chauds, contre l'hyperthermie, créée dans l'organisme par l'effort musculaire aidé de la chaleur ambiante.

Nous allons chercher dans ce chapitre l'affinité que possède pour la vapeur d'eau et pour l'eau elle-même chacune des étoffes que nous étudions et nous rechercherons aussi la rapidité avec laquelle elles se laissent traverser par l'eau.

§ 1. — *De l'affinité des étoffes pour l'eau et la vapeur d'eau : de la résistance qu'elles opposent au passage de l'eau.*

Coulier le premier rechercha le pouvoir d'absorption de l'eau par les vêtements (1). Il distingua l'eau d'interposition, retenue entre les mailles des tissus par capillarité, et l'eau hygroscopique due à l'absorption de la vapeur d'eau par les fibres vestimentaires ; nous conserverons cette même distinction.

Par gramme d'étoffes, il a obtenu comme résultats :

Eau hygroscopique.

Drap bleu foncé pour soldat	0.171
Drap garance pour soldat.....	0.188
Drap bleu gris	0.161

Eau d'interposition.

Drap bleu foncé pour soldat	1.432
Drap garance	1.064
Drap bleu gris	1.402

Pettenkofer (2) reprend ces expériences, il opère dans des milieux d'états hygrométriques différents et de température différente.

Ses expériences n'ont porté que sur la toile et flanelle : il trouve que la flanelle est deux fois plus hygrométrique que la toile. C'est la seule conclusion que l'on peut tirer de ses expériences. Il est impossible de calculer les variations hygrométriques des étoffes avec l'élévation ou l'abaissement de la température, car

(1) COULIER. — Loc. cit.

(2) PETTENKOFER. — Loc. cit.

Pettenkofer ne donne pas le degré de saturation des milieux dans lesquels il opère.

Pettenkofer recherche encore pour ces deux étoffes, la quantité d'eau d'interposition que retiennent 1,000 parties d'étoffe sèche et trouve pour le lin 740 et la flanelle 913. Il fait évaporer l'eau et constate qu'au bout de 75 minutes, le lin abandonne 511 parties d'eau, la flanelle 456 ; pendant les 30 minutes suivantes, le lin 130, la laine 148 ; pendant 30 autres minutes suivantes, le lin 44, la laine 115. La laine se dessèche donc plus lentement que le lin.

C'est à Klas-Linroth (1) que nous devons le travail le plus complet sur cette question. Ses recherches portent sur l'eau hygroscopique.

Les étoffes sont séchées à 110°, puis pesées, placées ensuite pendant un temps variable, dans un milieu dont le degré de saturation est connu. On les pèse après. Klas-Linroth constate que la température n'influe pas d'une façon notable et que au contraire le degré hygrométrique du milieu a une certaine influence. Ainsi dans un milieu dont le degré hygrométrique est de 0,64, la quantité d'eau absorbée pour 100 parties d'étoffe est de 104 à 12°4, 115 à 15°2, 117 à 22°2. Pour un degré hygrométrique de 90 %, la quantité d'eau absorbée est de 225 à 7°8 et 235 à 18°9.

La rapidité de l'absorption est plus grande pendant les premières minutes, et peut atteindre 60 % de l'eau

(1) KLAS-LINROTH. — Sur la manière dont l'eau se comporte dans nos vêtements. (Nordiskt medic. Arkiv. XIII, n° 16, 1881). Analysé par Vallin, (Revue d'hygiène, 1881).

nécessaire à la saturation. Cette saturation dans un milieu dont le degré hygrométrique sera faible, se fera rapidement, mais pour un milieu saturé de vapeur d'eau il faudra au moins 15 heures.

Klas-Linroth constate encore que l'influence du corps sur l'absorption par les étoffes de l'eau hygroscopique est notable. Appliqués sur la peau nue, sous les vêtements, les tissus enlèvent moins facilement l'eau à notre corps qu'à l'air extérieur. Ainsi la flanelle, dans ces conditions, ne prend que 44 parties d'eau pour 1000 d'étoffe au lieu d'en prendre 174 comme elle le fait à l'air libre.

Nous ferons remarquer que l'auteur ne parle pas du temps pendant lequel la flanelle est restée au contact de la peau. Ce temps a certainement une influence ; car l'action des produits de sécrétion des glandes sébacées sur un tissu quelconque a pour effet de l'empêcher d'être mouillé par l'eau et par conséquent de diminuer la quantité d'eau ou de vapeur absorbée.

Lorenz (1) a fait lui aussi des recherches pour connaître l'augmentation de poids de l'habillement d'un fantassin par l'eau d'interposition ; en laissant les vêtements tremper dans l'eau, il a trouvé les nombres suivants :

Poids total des vêtements avant l'imbibition	7 k ^{os} 074
— — — — — après l'imbibition	18 273
— — — — — après 12 heures d'éva- poration à l'air humide et froid.....	44 253

Nous n'avons pas tenu compte dans ces nombres des poids des effets de treillis.

(1) LORENZ. — Loc. cit.

Nous avons repris cette étude pour les étoffes de laine employées dans l'infanterie et nous avons cherché leur augmentation de poids par l'eau hygroscopique puis par l'eau d'interposition, nous avons recherché ensuite leur résistance au passage de l'eau.

RECHERCHES FAITES SUR DES ÉCHANTILLONS D'ÉTOFFES. — Nos premières expériences eurent pour but la recherche de l'augmentation de poids des étoffes sous l'influence de la vapeur d'eau d'abord, ensuite de l'eau elle-même. Ces recherches furent faites sur des échantillons de drap de forme carrée, ayant une longueur de 7 cent. de côté, ce qui fait une surface de 49 cent. carrés.

Ces carrés furent d'abord placés pendant plusieurs jours dans un cristalliseur, contenant des fragments de chlorure de calcium desséché, le tout recouvert d'une plaque de verre. On les en retirait pour les porter rapidement sur l'un des plateaux d'une grande balance de précision ; on faisait la tare et l'on remplaçait l'échantillon par des poids marqués, ce qui est la méthode de la double pesée.

Détermination de l'eau hygroscopique. — Une fois le poids de l'étoffe sèche connu, on plaçait celle-ci dans une chambre humide où elle séjournait 24 heures, on la pesait et on obtenait ainsi le poids de l'eau hygroscopique. Nous nous sommes assuré qu'au bout de 24 heures, la saturation de l'étoffe par la vapeur d'eau était complète ; par un séjour de 48 et 72 heures dans la chambre humide, le poids n'augmentait plus.

Détermination de l'eau d'interposition. — Les étoffes sa-

turées étaient ensuite déposées par leur endroit sur l'eau. Peu à peu, l'eau les pénétrait par capillarité, chassait l'air retenu dans leurs mailles, et on les voyait s'enfoncer peu à peu. Vingt-quatre heures après, elles étaient au fond du récipient. On les en retirait et avant de les porter sur la balance, on les laissait égoutter pendant une minute. Nous avons également remarqué que le poids, au bout de 48 et 72 heures de séjour sous l'eau, était le même que celui que l'on avait noté au bout de 24 heures.

Voici nos résultats :

1° Poids des étoffes sèches :

Drap rouge soldat n° 1.....	2 gr. 925
— — n° 2.....	2 327
— sous-officier.....	2 510
— ordinaire, officier.....	2 828
— satin, officier.....	2 699
Drap bleu gris capote n° 1.....	2 958
— — n° 2.....	2 935
Tunique soldat.....	2 705

2° Poids des étoffes, après 24 heures dans une chambre humide.

Drap rouge soldat n° 1.....	3 gr. 295
— — n° 2.....	2 365
— sous-officier.....	2 660
— ordinaire, officier.....	3 085
— satin, officier.....	2 875
Drap bleu gris, capote n° 1.....	3 320
— — n° 2.....	3 285
Tunique soldat.....	2 931

3° Poids des étoffes, après un séjour de 24 heures sous l'eau.

Drap rouge soldat n° 1	8 gr. 785
— — n° 2	5 845
— sous-officier	6 775
— ordinaire, officier	8 417
— satin, officier	7 740
Drap bleu gris, capote n° 1	9 895
— — n° 2	7 225
Tunique soldat	8 450

Si nous divisons le poids des étoffes saturées par la vapeur d'eau et celui des étoffes mouillées, par le poids des étoffes sèches, nous aurons les coefficients d'absorption pour la vapeur d'eau et pour l'eau d'interposition. Dans le tableau qui suit, le premier nombre représente le coefficient d'absorption pour la vapeur d'eau, le second le coefficient d'absorption pour l'eau d'interposition.

Drap rouge soldat n° 1	1.126	3.004
— — n° 2	1.102	2.512
— ordinaire, officier ..	1.084	2.800
— satin, officier	1.065	2.860
— sous-officier	1.060	2.763
Drap bleu gris capote n° 1	1.111	3.345
— — n° 2	1.119	2.461
Drap tunique soldat	1.080	3.012

Conclusions. — Remarquons que le coefficient d'absorption pour la vapeur d'eau est en général plus fort pour les étoffes du soldat que pour celles de l'officier, qu'elle croît avec le coefficient de perméabilité gazeuse des étoffes sèches. Ainsi pour le pantalon satin d'officier sec, le coefficient de perméabilité gazeuse est de 0.246 et celui d'absorption pour la vapeur d'eau de 1.065 pour

le pantalon de soldat, nous aurons les nombres 0.540 pour le premier coefficient et 1.126 pour le second.

Nous avons expérimenté sur des étoffes ayant déjà servi et désignées par : étoffes n° 2. Le drap rouge était bien plus usé que le drap gris bleu de capote; ce dernier avait encore une épaisseur de 2 millim., tandis que le premier 1 millim. 5 seulement. En comparant le coefficient d'absorption avec les mêmes étoffes n° 1, nous remarquons qu'un léger degré d'usure augmente le coefficient d'absorption de vapeur d'eau, tandis qu'une usure plus avancée le diminue.

RECHERCHES FAITES SUR DES VÊTEMENTS ENTIERS. — Une seconde série de recherches fut faite par nous à Nancy. Mon Père, le colonel du 26^e de ligne, ayant fait mettre à ma disposition une collection (capote, pantalon), d'effets neufs, ainsi qu'une collection d'effets vieux, nous avons soumis ces vêtements à la vapeur d'eau, à la pluie et au séjour sous l'eau. M. le lieutenant Bonhomme nous a aidé dans nos recherches, nous l'en remercions.

Hiller (1) avait déjà soumis des étoffes à des douches en pluie, imitant autant que possible la pluie naturelle. Lorenz (2) refit les expériences de Hiller et pour se rapprocher de la réalité, il modifia la méthode. Pour faire la pluie, il se servit d'un tonneau dont le fond, percé de trous, était recouvert d'abord de mousseline et par-dessus celle-ci de sciure de bois. En levant ou en abaissant le tonneau, il faisait varier l'intensité de la pluie.

(1) LORENZ. — Loc. cit.

(1) HILLER. — Loc. cit.

Les vêtements étaient bourrés de paille à leur intérieur. Lorenz trouva qu'après deux heures d'une pluie ordinaire, des taches d'eau apparaissaient à l'envers du manteau de troupe, que ce manteau était traversé au bout de 25 minutes par la pluie d'orage, et que le drap de tunique était traversé en une demi-heure par une pluie ordinaire et en 5 minutes par une pluie d'orage.

Lorenz rechercha également l'augmentation de poids des vêtements après un quart d'heure de séjour sous l'eau. Mais il ne mentionne point l'augmentation de poids après un moment d'exposition à la pluie. C'est ce que nous avons fait.

Voici comment nous opérions. La pluie était produite par une pomme d'arrosoir (de 0 millim. 08 de diamètre et ayant 160 trous) dans laquelle l'eau arrivait par un tuyau de 0 m. 01 de diamètre, dont le débit était de (0 lit. 254) par seconde. La pomme était située à 1 m. 90 du sol et à 0 m. 10 du mur. Sur le sol et à 0 m. 60 du mur, la surface couverte par l'eau était une circonférence de 1 m. 60 de diamètre. Les vêtements étaient placés dans ce cône de pluie, de façon que l'eau leur arriva sous une certaine incidence. Le bas des vêtements était à 1 mètre du mur, à 2 m. 55 de la pomme et recevait l'eau sous un angle de 30°. Le haut des vêtements se trouvait à 1 m. 15 du mur, à 1 m. 40 de la pomme et recevait l'eau sous un angle de 60°.

Les vêtements furent pesés à leur sortie du magasin, puis après 24 heures de séjour dans une atmosphère saturée, ensuite après une pluie d'une minute, de trois minutes, de six minutes et enfin après un séjour d'un quart d'heure sous l'eau.

Voici nos résultats :

CAPOTE D'INFANTERIE. — Type E correspondant à la taille moyenne.

Capote neuve (n° 1).

Poids à la sortie du magasin	2 k ^{os} 225
— après 24 heures de séjour dans une atmosphère saturée de vapeur d'eau.....	2 355
— après 1 minute d'exposition à la pluie.....	2 605
— — 3 minutes — —	3 140
— — 6 — — —	4 385
— — 15 — de séjour sous l'eau.....	5 175
— — 24 heures séchage à l'air.....	2 970

Au bout de six minutes d'exposition à la pluie, l'eau perle à l'envers et les doublures sont humides.

Au bout de la première minute on pesait la capote, puis on la soumettait à deux minutes de pluie, on la pesait, et on soumettait finalement à trois minutes de pluie, ce qui faisait au total six minutes coupées par le temps des deux pesées.

Capote déjà portée (n° 2).

Poids à la sortie du magasin	2 k ^{os} 055
— après 24 heures de séjour dans une atmosphère saturée de vapeur d'eau	2 260
— après 1 minute d'exposition à la pluie.....	2 765
— — 3 minutes — —	3 285
— — 6 — — —	3 650
— — 15 — de séjour sous l'eau.....	4 820

Au bout de trois minutes l'eau perle à l'envers, les épaules sont trempées au bout de six minutes, toute la capote est traversée.

PANTALON D'INFANTERIE. — Type E correspondant à la taille moyenne.

Pantalon neuf (n° 1).

Poids à la sortie du magasin	0 k°	980
— après 24 heures de séjour dans une atmosphère saturée de vapeur d'eau	1	200
— après 1 minute d'exposition à la pluie	1	325
— — 3 minutes — —	1	550
— — 6 — — —	1	820
— — 15 — de séjour sous l'eau	2	835

L'eau perle à l'envers en quelques points au bout de six minutes de pluie.

Pantalon déjà porté (n° 2).

Poids à la sortie du magasin	0 k°	900
— après 24 heures de séjour dans une atmosphère saturée de vapeur d'eau	0	965
— — 1 minute d'exposition à la pluie	1	345
— — 3 minutes — —	1	585
— — 6 — — —	1	670
— — 15 — de séjour sous l'eau	2	250

Après une minute de pluie l'eau perle à l'envers, après trois minutes les genoux sont trempés, après six minutes tout le pantalon est transpercé.

Conclusions. — D'après ces expériences, nous remarquons que pendant les trois premières minutes d'exposition à la pluie, les étoffes vieilles absorbent une quantité d'eau plus grande que les étoffes neuves ; mais qu'au bout de 6 minutes, le poids de ces dernières étoffes l'emporte sur celui des étoffes vieilles.

Ainsi, au bout de 3 minutes, une capote neuve absorbe 0 kilog. 975 d'eau, une vieille 1,230, mais au bout de 6 minutes, la capote neuve aura 2,160 en plus, la capote vieille seulement 1,595. Il en est de même pour le pantalon. Au bout de 3 minutes, le pantalon neuf absorbera

0 kilog. 575 d'eau, le vieux 0,685, au bout de 6 minutes, le neuf 0,840, le vieux 0,770.

Nous constatons encore qu'après une pluie d'orage de 6 minutes, la capote et le pantalon du fantassin pèseront :

Capote et pantalon n° 1 : 6 kilog. 205.

Capote et pantalon n° 2 : 5 — 320.

C'est-à-dire que dans le premier cas, on aura une augmentation de 3 kilog., dans le second de 2,365. Ajoutons à cela une conductibilité à la chaleur plus grande, une perméabilité gazeuse moindre, un temps lourd et l'on se rendra parfaitement compte du malaise que peut éprouver un troupier fatigué.

PASSAGE DE L'EAU A TRAVERS LES VÊTEMENTS. — Nous avons ensuite, dans une autre série d'expériences, recherché la résistance des diverses étoffes au passage de l'eau. Nous nous sommes servis pour cela d'un tube de verre de 4 centim. 5 de diamètre. A l'une de ses extrémités se trouve un bouchon, traversé par un tube de verre assez long, pour que l'une de ses extrémités traversant le premier tube, arrive à deux centimètres de l'extrémité libre de ce premier tube. On remplit l'appareil d'eau et l'on recouvre l'extrémité libre avec l'étoffe étudiée, en prenant les mêmes précautions que celles indiquées au chapitre de la perméabilité à l'air, de manière que l'eau ne s'écoule pas entre les parois du tube et l'étoffe.

L'eau traversera l'étoffe sous une pression constante de 2 centimètres d'eau.

On note le temps mis par les premières gouttes d'eau pour apparaître, ainsi que celui nécessaire au passage

de 250 centimètres cubes d'eau, depuis l'apparition des premières gouttes. On place l'endroit de l'étoffe du côté de l'eau.

La température de l'enceinte était de 18°.

Voici les résultats obtenus :

Temps d'apparition des premières gouttes

Drap rouge soldat, pantalon n° 1....	15 minutes
— — n° 2....	5 —
— officier.....	9 —
Tricotine	5 —
Capote n° 2.....	6 —
Doublure de capote	4 —

Temps de passage de 250 centimètres cubes d'eau.

Drap rouge soldat n° 1.....	40 minutes
— — n° 2.....	7 —
— ordinaire, officier....	10 —
Tricotine rouge.....	18 —
Capote n° 2.....	15 —
Doublure	1 —

Si nous cherchons le nombre de centimètres cubes qui traversent les différentes étoffes *en une seconde*, nous aurons :

Drap rouge soldat n° 1.....	0cc 416
— — n° 2.....	0 395
— ordinaire, officier.....	0 378
Tricotine rouge	0 232
Capote n° 2.....	0 277
Doublure....	4 166

Conclusions. — L'ordre dans lequel se classent les différents tissus, étudiés au point de vue de la facilité

avec laquelle ils se laissent traverser par l'eau, trouve son explication dans les lois de Poiseuille. On sait que la quantité de liquide qui s'écoule dans un tube capillaire est proportionnelle : 1° à la pression exercée sur ce liquide, 2° à la 4^e puissance du diamètre du tube capillaire, et 3° en raison inverse de la longueur du tube. Ce qui peut se traduire par la formule :

$$Q = \frac{K H d^4}{l}$$

Or, dans nos expériences, H était constant, mais l'épaisseur l des différents tissus, ainsi que le diamètre d des espaces capillaires à travers lesquels l'eau filtrait, variait avec chacun des tissus étudiés.

Ainsi la tricotine rouge d'une épaisseur de 3 millim. 5, ne laisse passer que 0,232 centimètres d'eau en une seconde, et le pantalon n° 2, d'épaisseur de 1 millim. 5, en laisse passer 0,595. Remarquons de plus, le coefficient de perméabilité gazeuse du pantalon de soldat n° 2, saturé de vapeur d'eau, est plus forte que celui de la tricotine. Cette perméabilité gazeuse est en relation avec le diamètre des espaces capillaires des étoffes.

§ 2. — *De l'imperméabilisation hydrofuge des étoffes de laine.*

D'après tout ce que nous venons de voir, il nous est facile de constater l'influence fâcheuse de l'eau sur les propriétés physiques des étoffes. Elle entrave l'évaporation de la sueur en diminuant la perméabilité gazeuse des vêtements, condition favorable au coup d'échauffement. Elle accélère la déperdition de chaleur en augmentant la

conductibilité calorifique intérieure des étoffes, ainsi que leur pouvoir émissif. De plus, il faut à cette eau pour s'évaporer, une certaine quantité de chaleur qu'elle prendra au corps en produisant un abaissement de température.

Toutes ces conditions réunies mettent le soldat dans un état de moindre résistance et le prédisposent aux maladies. Larrey rapporte dans ses mémoires qu'au bivouac il mourait plus d'hommes après une journée de pluie ; la déperdition de chaleur étant plus grande par les étoffes mouillées. Quiconque a bivouaqué se rappelle très bien, le matin au point du jour, lorsque la rosée se dépose, avoir senti l'eau pénétrer dans ses vêtements, les roidir, les glacer. Aussi, dès 1838, Metzиг demandait à la chimie de trouver un moyen d'imperméabiliser pour l'eau, les vêtements du soldat, tout en les laissant perméables à l'air.

L'imperméabilisation hydrofuge des effets du troupier s'impose donc. Nombreux sont les procédés employés.

Procédés employés. — Mentionnons tout d'abord l'emploi du caoutchouc, de la gutta-percha, sans nous y arrêter plus longtemps ; c'est un moyen détestable qui répond pas à une condition hygiénique importante que doivent remplir les vêtements, à savoir la perméabilité gazeuse.

Les meilleurs procédés d'imperméabilisation à l'eau des vêtements, consistent à déposer sur leurs fibres un précipité de savon insoluble. On les traite d'abord avec une solution d'un sel métallique, l'alumine en général, puis on les passe dans une solution de savon. Une bonne

méthode est celle donnée par Dujardin ; elle consiste à traiter les vêtements par une solution d'acétate d'alumine; l'acide acétique s'évapore et l'alumine reste adhérente. Dujardin obtient sa solution d'acétate d'alumine en mélangeant les deux solutions suivantes :

- 1° 1 kilo d'alun de potasse.
1 kilo d'acétate de plomb.
0.600 de bicarbonate de potasse.
0.600 de sulfate de soude.
150 lit. d'eau.
- 2° 0.450 de savon d'huile.
150 lit. d'eau.

Un procédé plus simple est celui de Thieux de Marseille, nous l'exposerons plus loin en analysant les derniers travaux russes parus sur la question.

Nous allons maintenant exposer rapidement les résultats obtenus par certains auteurs, qui ont expérimenté sur des étoffes imprégnées d'acétate d'alumine.

En 1884, Bruno Muller (1) trouva que les manteaux de soldats, imperméabilisés à l'eau par l'acétate d'alumine, absorbaient 1320 grammes d'eau de moins que les manteaux non imperméabilisés.

Hiller (2) étudia l'influence de l'imperméabilisation hydrofuge sur le passage de l'air, lorsque les étoffes étaient sèches et lorsqu'elles étaient mouillées. Il trouva que l'imperméabilisation diminuait la perméabilité gazeuse des étoffes ; ainsi le manteau de troupe sec, laissant

(1) B. MULLER. — Ueber die Beziehung des Wassers zur militärbekleidung. (Archiv für Hygiene 1874, p. 1-34).

(2) HILLER. — Loc. cit.

passer 54 litres d'air lorsqu'il n'était pas imprégné d'alumine, n'en laissait passer que 52,98, lorsqu'il en était imprégné. Mais si ce manteau était mouillé, non imprégné, il ne laissait passer que 14,9 litres d'air, tandis qu'imprégné, il en laissait passer encore 39,8.

Hiller rechercha encore la manière dont se comportaient les étoffes imprégnées et non imprégnées d'alumine, quand on les soumettait à une pression de 6 centimètres d'eau. Le manteau de troupe non imprégné laissait passer la première goutte au bout de 20 minutes, et il était trempé au bout d'une heure. Il n'y avait rien, 24 heures après, quand le manteau était imprégné. Les étoffes d'officiers, non imprégnées, laissaient apparaître la première goutte après trois quarts d'heure, et elles étaient trempées au bout de 5 heures ; lorsqu'elles étaient imprégnées, la première goutte ne passait qu'au bout de une heure $1/4$ et l'eau les mouillait complètement au bout de 5 heures.

Après Hiller, Lorenz (1) reprit la question et étudia la résistance à la pluie des étoffes non imperméabilisées et imperméabilisées à l'eau. Le dispositif dont il s'est servi a été exposé plus haut, ainsi que ses résultats pour les étoffes non imperméabilisées à l'eau. Nous n'y reviendrons plus. Pour les étoffes imprégnées d'alumine, il a obtenu des résultats négatifs, l'eau ne les traversait pas ; une exception doit être faite pour le drap de tunique de soldat qui est mouillé à l'intérieur au bout d'une demi-heure.

De ces expériences et des travaux des auteurs qui

(1) LORENZ. — Loc. cit.

l'ont précédé, Lorenz tire les conclusions suivantes : (1)

1° Les vêtements imperméables sont nécessaires aux soldats.

2° Les procédés d'imperméabilisation connus jusqu'en 1891, le procédé à l'acétate d'alumine est le meilleur.

3° D'imperméabilisation hydrofuge n'est pas complète, mais suffisante.

4° La perméabilité à l'air n'est pas altérée, même quand ces tissus sont mouillés.

5° L'action des étoffes imperméables sur la transpiration n'est pas bien connue ; il en est de même de l'action de la sueur sur l'imperméabilisation hydrofuge. La sueur contient des acides qui dissolvent l'alumine anhydre.

6° Les substances employées doivent être inoffensives.

7° L'augmentation du poids par l'acétate d'alumine est faible.

8° L'aspect et la qualité des tissus gagnent à l'imperméabilisation hydrofuge.

9° Les tissus traités par l'alumine ne peuvent être lavés.

10° La durée des effets est augmentée.

11° L'alcool, l'huile, la benzine, le vinaigre détruisent l'imperméabilisation hydrofuge.

12° La dépense est minime ; 52 fr. 87, d'après Hiller, pour l'imperméabilisation hydrofuge de tous les manteaux d'un bataillon.

13° Les avantages paraissent donc l'emporter sur les inconvénients.

(1) Voir POMMAY, — Loc. cit.

Les conclusions de Lorenz ne diffèrent pas beaucoup de celles de Klas-Linroth, de Hiller, de Muller.

Le dernier travail paru sur l'imperméabilisation hydrofuge des vêtements, date de septembre 1898. Il est dû à un médecin militaire russe, Krotov (1), du premier régiment des Cosaques du Volga. Ce travail, dont la traduction nous a été adressée par M. le major Roy, rend compte d'expériences très intéressantes faites avec différentes étoffes militaires imperméabilisées à l'eau par l'acétate d'alumine (procédé du docteur Pavlovski, identique à celui de Thieux, de Marseille).

Dans ce procédé, on mélange deux solutions à parties égales, l'une d'alun, l'autre de sous-acétate de plomb et l'on traite les étoffes pendant au moins 24 heures, par la solution d'acétate basique d'alumine ainsi obtenue.

Dans ses expériences, Krotov a cherché à éclaircir les points suivants :

1° La teinte du vêtement est-elle influencée par la solution ?

1° Quelle quantité d'acétate d'alumine reste dans les tissus ?

3° Au bout de combien de temps, différents morceaux d'étoffe non traités par la solution, laissent-ils passer l'eau ?

Au bout de combien de temps différents morceaux d'étoffe traités par la solution, laissent-ils passer l'eau.

4° Que devient l'imperméabilisation d'un effet impré-

(1) A. KROTOV. — L'imprégnation des tissus par le procédé du Dr Pavlovski (in Razviedtchik, n° 411, 8 septembre 1898).

gné que l'on froisse entre les mains ? (c'est-à-dire rendu semblable à un effet que l'on a porté).

Les échantillons d'étoffe utilisés pour la solution de ces questions ont été les suivants :

- 1° Drap de capuchon marron ;
- 2° Drap de couverture ;
- 3° Drap de soldat pour capote ;
- 4° Drap de capote des cosaques du Don ;
- 5° Toile de chemise des cosaques du Don et de l'infanterie ;
- 6° Drap de pantalon des troupes du Don ;
- 7° Drap des Circassiens des cosaques du Caucase ;
- 8° Toile de chemise des cosaques du Caucase ;
- 9° Drap de pantalon des Caucasiens ;
- 10° Drap de pantalon de soldat.

Voici les résultats des recherches de Krotov :

1° La solution d'acétate d'alumine altère très peu la coloration des différentes étoffes. Seule l'étoffe de pantalon des cosaques du Caucase a changé de teinte, colorant la solution d'alumine en bleu foncé.

2° Pour rechercher la quantité de résidu sec d'acétate d'alumine qui reste dans l'étoffe, l'auteur a pris des morceaux carrés (de 100 centim. carrés) de chacune des dix sortes d'étoffes énumérées plus haut. Ces carrés, d'abord desséchés à 100°, puis agités dans un dessiccateur à acide sulfurique pendant 48 heures, ont été pesés. Ensuite traités par la solution d'acétate d'alumine pendant 48 heures, de nouveau desséchés à 100°, puis placés dans le dessiccateur pendant 48 heures, ils ont été pesés. D'une manière générale, le résultat a été inat-

tendu. Krotov a trouvé une diminution de poids plutôt qu'une augmentation; il explique ce fait en disant qu'il est probable que le traitement par la solution enlève aux étoffes une certaine quantité de substance colorante et de poussière. C'est ainsi que la plus grande perte de poids est enregistrée pour les étoffes les plus atteintes dans leur coloration.

3° Pour déterminer la perméabilité à l'eau de chaque morceau d'étoffe (traité ou non traité par la solution d'alumine), l'auteur opère de la manière suivante :

Il ferme l'orifice d'un vase à large ouverture avec le morceau d'étoffe à expérimenter en le déprimant à son centre ; il verse de l'eau sur l'étoffe de telle façon que la hauteur de la colonne d'eau au centre de l'étoffe soit égale à environ 2 centim. 540.

Les morceaux d'étoffes non traités par la solution d'alumine ont laissé passer l'eau :

1°	L'étoffe de pantalon des caucasiens, au bout de	3 minutes
2°	— — — des troupes du Don —	4 —
3°	Drap de soldat pour capote —	4 —
4°	— couverture —	5 —
5°	— capuchon (bachlichnoïé) —	42 —

Les mêmes morceaux, soumis à la solution d'acétate d'alumine pendant 24 et 48 heures, ont donné les résultats suivants :

	Étoffes traitées pendant 24 heures	Étoffes traitées pendant 48 heures
Ont laissé passer l'eau au bout de		
1° Etoffe de pantalon des Caucassiens.	8 heures	52 heures
2° — — troupes du Don.	5 —	22 —
3° Drap de soldat pour capote.....	7 —	18 — 30
4° — couverture.....	7 —	14 —
5° — capuchon.....	9 —	25 —

A l'inspection de ce tableau, on voit que plus l'action de la solution d'acétate d'alumine est prolongée, plus l'étoffe demeure imperméable à l'eau.

Pavlovski affirme avoir obtenu des résultats meilleurs. Le passage de l'eau s'effectuerait au bout de 4 à 7 jours seulement. Krotov, pour expliquer la différence dans les résultats obtenus se demande si Pavlovski n'attendait pas un écoulement réel de l'eau à travers l'étoffe avant de clore l'expérience, tandis que lui notait le moment où le plus petit degré d'humidité apparaissait sur la face opposée de l'étoffe.

4° Dans le but de connaître quelle influence exerce le port des effets sur l'imperméabilisation à l'eau des étoffes traitées par la solution, l'auteur a pris chaque morceau soumis par le procédé décrit plus haut, à un traitement de 48 heures, l'a pétri dans les mains pendant une demi-heure et ensuite a déterminé au bout de combien de temps l'étoffe commençait à laisser passer l'eau. Il obtient les résultats suivants :

1°	Étoffe de pantalon des Caucassiens	au bout de 10 heures		
2°	—	des troupes du Don	—	10 —
3°	Drap de soldat pour capote	—	—	15 —
4°	—	couverture	—	10 —
5°	—	capuchon	—	18 —

D'après ces résultats, le port des étoffes affaiblit leur imperméabilisation hydrofuge. Il faut donc, d'après Krotov, le soumettre au moins tous les ans à la solution d'acétate d'alumine.

Nouveau procédé d'imperméabilisation hydrofuge des vêtements

Pendant qu'en Russie Krotov expérimentait sur des étoffes traitées par l'acétate d'alumine, en France, à la même époque, un médecin militaire, M. le Médecin-Major Berthier faisait également des recherches avec des étoffes imperméabilisées à l'eau par un tout autre procédé.

Partant de ce fait bien connu que les vêtements des Arabes sont imperméables, parce qu'ils sont tissés avec de la laine brute. M. Berthier (1) pensa rendre aussi imperméables à l'eau les vêtements du troupiér en leur restituant le suint.

Au début de ses recherches, M. Berthier se servit de la lanoline, produit d'épuration de la suintine, débarrassé de savon, d'acide gras, et rendu neutre. Dans la suite, il remarqua qu'une substance anhydre, provenant de suint, se dissolvant dans l'essence de pétrole et connue sous le nom de « suint neutre 1 », était bien meilleure. Ce suint provient des établissements de peignage de Delmenhorst, grand duché d'Oldenbourg et de Neudek en Bohême. On se le procure à Anvers, chez MM. Bisdorn et Van der Bergh.

C'est ce suint, dissous dans l'essence *légère* de pétrole (10 grammes de suint, un litre d'essence) qui sert à rendre les vêtements imperméables à l'eau. On peut, soit plonger le vêtement dans le liquide imperméabilisateur et le tordre ensuite, soit l'imbiber au moyen d'une éponge. Il importe que le vêtement soit bien propre ; il faut

(1) V. BERTHIER. — Utilisation du suint en hygiène militaire. Archives de Médecine et de pharmacie militaire. Tome 32, juillet 1893.

environ deux litres de solution pour une collection d'effets (capote, pantalon, képi).

Nous allons rapidement exposer les résultats des expériences de M. Berthier.

Les premières recherches ont porté sur de vieilles collections d'effets imperméabilisés, les uns avec l'alumine (alun et acétate de plomb), les autres avec la lanoline. Ces effets ont été essayés pendant les dernières marches d'épreuve, par la pluie et le soleil, et les hommes qui les portaient n'ont éprouvé aucun malaise. Pendant l'une de ces marches, ils ont essuyé une pluie d'orage de 20 minutes ; les vêtements imprégnés de lanoline n'ont pas été traversés et au bout d'une demi-heure étaient secs ; les vêtements témoins, non imperméabilisés à l'eau, ont été traversés et sont restés mouillés plus longtemps. Ce jour-là, en rentrant au quartier, on pesa les chemises et les caleçons des hommes porteurs des vêtements imperméabilisés à l'eau et des vêtements témoins. Voici les nombres trouvés :

Témoins.....	216	grammes
Imperméabilisés à l'eau par la lanoline.....	167	—
— — — l'alumine....	256	—

La sueur s'est donc évaporée plus facilement chez les hommes portant les vêtements imprégnés de lanoline que chez les autres.

Dans d'autres expériences faites au laboratoire de l'Institut chimique de Lille, M. Berthier a trouvé que la perméabilité gazeuse des étoffes imprégnées de lanoline était fort peu diminuée ; voici comment il opérait.

Il recouvrait des cristallisoirs de même diamètre inté-

rieur (132 millim.) et contenant de l'eau avec des échantillons de drap, les uns imprégnés de lanoline, les autres non. Ces échantillons étaient fortement fixés aux rebords des cristallisoirs au moyen d'une ficelle. Le tout fut laissé pendant cinq jours dans une étuve Roux à 28°, et l'on rechercha, pour chaque cristallisoir, le poids d'eau évaporée. On trouva que le cristallisoir recouvert

1°	De drap neuf non imprégné de lanoline	avait perdu	42 gr. 4
2°	— vieux — — — — —	—	42 5
3°	— neuf, imprégné de lanoline (10/1000)	—	44 5
4°	— vieux, — — — — — (10/1000)	—	45 5

Les draps imprégnés de lanoline laissent donc passer plus de vapeur d'eau que les autres. Cela se comprend, car la vapeur d'eau ne peut plus pénétrer les fibres vestimentaires, les gonfler et par conséquent diminuer la perméabilité gazeuse.

Dans une autre expérience, M. Berthier place les carrés de drap sur des carrés de doublure, dont se détachent des franges trempant dans l'eau du cristallisoir. Celle-ci monte par capillarité le long de ces franges et imbibe continuellement la doublure. Les cristallisoirs sont placés dans une étuve à 28°. On réalise ainsi l'évaporation de la sueur par un temps sec.

On trouve que le cristallisoir recouvert de

	Après 2 jours	Après 3 jours
1° Drap neuf non imprégné de lanoline perd	33 gr.	49 gr.
2° Drap neuf non imprégné de lanoline perd	39 —	53 — 7
3° Drap neuf imprégné de lanoline (10/1000) perd	32 —	47 — 3
4° Drap vieux imprégné de lanoline (10/1000) perd	34 —	52 —

Si maintenant, sur les mêmes cristallisoirs on fait tomber de la pluie (tubes de caoutchouc en Y, l'eau tombe goutte à goutte sur du coton placé sur les draps des cristallisoirs), on constate après 36 heures, que le cristallisoir recouvert de

1°	Drap neuf non imprégné de lanoline	augmente de	53 gr. 7
2°	— vieux — — — — —		291 — 0
3°	— neuf imprégné de lanoline (10/1000)	perd de	16 — 7
4°	— vieux — — — — —		6 —

M. Berthier arrive donc à cette conclusion importante que les vêtements imprégnés de lanoline ne se laissent pas traverser par l'eau et laissent passer une certaine quantité de vapeur d'eau, malgré la pluie.

Il constate encore que les vêtements imprégnés de lanoline absorbent une quantité d'eau bien inférieure à celle absorbée par les vêtements non imprégnés. Ainsi, un échantillon de drap non imprégné de lanoline, pèse à l'état sec 25 grammes, puis, soumis à un ruissellement d'eau continu simulant la pluie, il pèse 69 gr. 5, et seulement 30 gr. 5 s'il a été imprégné.

D'après ses recherches, M. Berthier conclut que le poids des vêtements imprégnés de lanoline est fort peu augmenté, puisqu'il faut deux litres de solution pour imprégner une capote, un pantalon et un képi, ce qui fait 20 gr. de lanoline seulement.

M. Berthier constate encore que les vêtements imprégnés de lanoline sont perméables à l'air et à la vapeur d'eau ; que leur coloration n'est point altérée ; que leur solidité n'est pas diminuée, car leurs fibres vestimentaires, mises à l'abri de l'humidité par la couche imperméable, résisteront mieux aux atteintes extérieures.

La lanoline est une substance inoffensive à la santé.

La benzine ne diminue pas l'imperméabilisation à l'eau des effets par la lanoline ; il semblerait au contraire qu'elle l'augmente.

L'alcool est également sans action. Il n'en est pas de même de l'essence de térébenthine qui la détruit.

Les lavages intenses au savon diminuent l'imperméabilisation, surtout si le savon employé est alcalin et contient un excès de soude à l'état libre, ce qui est le cas des savons bon marché, employés par les soldats. Mais les lavages légers sont sans influence.

M. le Médecin-Major Berthier nous ayant envoyé un échantillon de « suint neutre 1 », nous en avons imprégné les diverses étoffes de laine étudiées par nous, et nous avons fait pour ces nouvelles étoffes, les mêmes recherches expérimentales que celles décrites aux chapitres précédents.

Nous ne reviendrons pas sur les méthodes employées et nous ne donnerons que les résultats obtenus.

1. — Recherche de la conductibilité calorifique intérieure

RÉSULTATS OBTENUS AVEC

Etoffes sèches, imperméabilisées pour l'eau.

A. Draps d'officiers.

1° Drap rouge satin. $E = 1^{\text{mm}}5$

$$t_1 = 38^{\circ}1, t_2 = 37^{\circ}7, t_3 = 14^{\circ}5, t_4 = 14^{\circ}4$$

$$\theta_1 = 37^{\circ}4, \theta_2 = 14^{\circ}55$$

$$\theta_1 - \theta_2 = 22^{\circ}85$$

2° Drap rouge ordinaire. E = 2^{mm}

$$\begin{aligned} t_1 &= 38^{\circ}5, t_2 = 38^{\circ}1, t_3 = 14^{\circ}3, t_4 = 14^{\circ}2 \\ \theta_1 &= 37^{\circ}8, \theta_2 = 14^{\circ}35 \\ \theta_1 - \theta_2 &= 23^{\circ}45 \end{aligned}$$

3° Tricotine rouge. E = 3^{mm}5.

$$\begin{aligned} t_1 &= 39^{\circ}, t_2 = 38^{\circ}6, t_3 = 13^{\circ}1, t_4 = 13^{\circ} \\ \theta_1 &= 38^{\circ}3, \theta_2 = 13^{\circ}15 \\ \theta_1 - \theta_2 &= 25^{\circ}15 \end{aligned}$$

4° Drap noir, tunique. E = 1^{mm}5.

$$\begin{aligned} t_1 &= 39^{\circ}, t_2 = 38^{\circ}6, t_3 = 14^{\circ}1, t_4 = 14^{\circ} \\ \theta_1 &= 38^{\circ}3, \theta_2 = 14^{\circ}15 \\ \theta_1 - \theta_2 &= 24^{\circ}15 \end{aligned}$$

B. Drap de sous-officier.

Drap rouge. E = 2^{mm}.

$$\begin{aligned} t_1 &= 38^{\circ}7, t_2 = 38^{\circ}3, t_3 = 14^{\circ}1, t_4 = 14^{\circ} \\ \theta_1 &= 38^{\circ}, \theta_2 = 14^{\circ}15 \\ \theta_1 - \theta_2 &= 23^{\circ}85 \end{aligned}$$

C. Drap de soldat.

1° Drap rouge, n° 1. E = 2^{mm}.

$$\begin{aligned} t_1 &= 38^{\circ}8, t_2 = 38^{\circ}4, t_3 = 14^{\circ}5, t_4 = 14^{\circ}4 \\ \theta_1 &= 38^{\circ}1, \theta_2 = 14^{\circ}55 \\ \theta_1 - \theta_2 &= 23^{\circ}55 \end{aligned}$$

2° Drap gris bleu, capote n° 1. E = 2^{mm}.

$$\begin{aligned} t_1 &= 38^{\circ}6, t_2 = 38^{\circ}2, t_3 = 13^{\circ}1, t_4 = 13^{\circ} \\ \theta_1 &= 37^{\circ}9, \theta_2 = 13^{\circ}15 \\ \theta_1 - \theta_2 &= 24^{\circ}75 \end{aligned}$$

3° Drap rouge, n° 2. E = 1^{mm}5.

$$\begin{aligned} t_1 &= 38^{\circ}4, t_2 = 38^{\circ}, t_3 = 15^{\circ}6, t_4 = 15^{\circ}5 \\ \theta_1 &= 37^{\circ}7, \theta_2 = 15^{\circ}65 \\ \theta_1 - \theta_2 &= 22^{\circ}05 \end{aligned}$$

4° Drap gris bleu, capote n° 2. $E = 2^{mm}$.

$$t_1 = 38^{\circ}4, t_2 = 38^{\circ}, t_3 = 13^{\circ}6, t_4 = 13^{\circ}5$$

$$\theta_1 = 37^{\circ}7, \theta_2 = 13^{\circ}65$$

$$\theta_1 - \theta_2 = 24^{\circ}05$$

Etoffes imperméabilisées pour l'eau, après 24 heures de séjour dans l'eau

1° Drap gris bleu, capote n° 1. Epaisseur $1^{mm}5$.

$$t_1 = 39^{\circ}2, t_2 = 38^{\circ}8, t_3 = 15^{\circ}9, t_4 = 15^{\circ}8$$

$$\theta_1 = 38^{\circ}5, \theta_2 = 15^{\circ}95$$

$$\theta_1 - \theta_2 = 22^{\circ}55$$

2° Drap rouge n° 2, pantalon de soldat. $E = 1^{mm}5$.

$$t_1 = 39^{\circ}8, t_2 = 39^{\circ}4, t_3 = 15^{\circ}2, t_4 = 15^{\circ}1$$

$$\theta_1 = 39^{\circ}1, \theta_2 = 15^{\circ}25$$

$$\theta_1 - \theta_2 = 23^{\circ}85$$

Si pour ces étoffes, nous cherchons les coefficients de conductibilité calorifique intérieure par rapport à l'air, nous obtenons :

Etoffes sèches

Draps d'officier.

Drap rouge satin 1.105

Drap rouge ordinaire..... 1.098

Tricotine-rouge 1.071

Drap de tunique..... 1.045

Drap de sous-officier.

Drap rouge..... 1.079

Draps de soldat.

Drap rouge n° 1..... 1.093

Drap gris bleu n° 1..... 1.040

Drap rouge n° 2..... 1.145

Drap gris bleu n° 2..... 1.070

Étoffes mouillées

Drap rouge soldat n° 2	1.058
Drap gris bleu n° 1	1.079

En comparant ces coefficients à ceux de conductibilité calorifique intérieure des étoffes non imprégnées de lanoline, nous remarquons que pour les étoffes sèches, la lanoline augmente légèrement leur conductibilité calorifique intérieure; ainsi pour la tricoline, nous avons 1.072 au lieu de 1.015, pour le drap rouge de soldat, n° 1, 1.093 au lieu de 1.034; mais si les étoffes imprégnées de lanoline sont mouillées, leur coefficient de conductibilité calorifique intérieure change très peu, et il est inférieur à celui des étoffes non imprégnées, mouillées. Ainsi, pour le drap gris bleu de capote, n° 1, on trouve 1.079 au lieu de 1.184, et pour le drap rouge de soldat, n° 2, 1.058 au lieu de 1.877, écarts sensibles.

II. — *Recherche du pouvoir émissif des étoffes imprégnées « saint neutre 1 ».*

La méthode est la même que celle employée au § 3 du chapitre I.

Nous obtenons pour les étoffes sèches, comme déviation de l'image :

Drap rouge ordinaire, officier.....	24 cent. 8
— satin, —	25 — 4
Drap de tunique, officier	25 — 8
Drap rouge soldat n° 1	24 — 5
— — n° 2	25 —
Drap gris bleu, capote n° 1.....	25 — 9
— — n° 2.....	25 —

Si nous cherchons le pouvoir émissif par rapport au noir de fumée, nous obtenons :

Noir de fumée.....	100
Drap gris bleu capote n° 1	74
— tunique officier.....	73.7
— rouge satin, officier.....	71.7
— gris bleu capote n° 2	71.4
— rouge soldat n° 2	71.4
— — ordinaire officier.....	70.8
— — soldat n° 1.....	70

En comparant ces résultats avec ceux obtenus dans le chapitre 1, § 3, pour le pouvoir émissif des étoffes non imprégnées de suint, nous remarquons que d'une manière générale, le pouvoir émissif des draps imprégnés de « suint neutre 1 », est un peu diminué et qu'il tend à devenir égal pour tous les draps.

III. Recherche de la perméabilité gazeuse des étoffes imprégnées de « Suint neutre 1 ».

La manière d'opérer est la même que celle décrite au chapitre II.

RÉSULTATS OBTENUS

1° Avec les étoffes sèches :

NOMS DES ÉTOFFES	Epaiss ^r	TEMPS nécessaire au passage de 2 lit. d'air	$\frac{t'}{t}$
	millim.	secondes	
Sans étoffe.....		35	1
Drap rouge soldat, n° 1.....	2	68	0.514
— — n° 2.....	1.5	53	0.660
— sous-officier.....	2	95	0.368
— ordinaire officier.....	2	100	0.184
Drap bleu gris capote, n° 1.....	2	80	0.437
— — n° 2.....	2	60	0.583
Drap de tunique officier.....	1.5	160	0.213
Tricotine rouge.....	3.5	54	0.648

2° Avec des étoffes ayant séjourné 24 heures dans une atmosphère saturée de vapeur d'eau :

NOMS DES ÉTOFFES	Epaiss ^r	TEMPS nécessaire au passage de 2 lit. d'air	$\frac{t'}{t}$
	millim.	secondes	
Sans étoffe.....		35	1
Drap rouge soldat, n° 1.....	2	70	0.500
— — n° 2.....	1.5	53	0.660
— sous-officier.....	2	101	0.346
— ordinaire officier.....	2	200	0.175
Drap bleu gris capote, n° 1.....	2	85	0.411
— — n° 2.....	2	62	0.564
Drap de tunique officier.....	2	168	0.208
Tricotine rouge.....	3.5	60	0.583

Si nous comparons les résultats que nous venons d'obtenir pour les étoffes imprégnées de suint et sèches, avec ceux mentionnés au chapitre II, pour les étoffes non imprégnées et sèches, nous remarquons qu'après imprégnation les étoffes ont leur perméabilité gazeuse légèrement diminuée. Ainsi le coefficient de perméabilité gazeuse du pantalon rouge de soldat n° 1, non imprégné de suint, est de 0.540, il sera de 0.514 quand le pantalon sera imprégné. Pour la tricotine rouge, non imprégnée 0.658, imprégnée 0.648.

Après un séjour de 24 heures dans une atmosphère saturée de vapeur d'eau, nous avons vu que les étoffes non imprégnées subissaient une forte diminution de perméabilité gazeuse; les étoffes imprégnées, au contraire, gardent dans les mêmes conditions leur perméabilité gazeuse à peu près intacte; ainsi, pour le pantalon rouge de soldat n° 1, nous avons, comme coefficient de perméabilité gazeuse :

	Non imprégné	Imprégné
Sec.....	0.540	0.514
Saturé par vapeur d'eau.....	0.355	0.500

IV. — *Résistance des étoffes imprégnées de « suint neutre 1 » à la pénétration de l'eau.*

Nous avons opéré sur des carrés d'étoffes de 49 centim. carrés de superficie; nous les avons pesés secs, puis après 24 heures de séjour dans une atmosphère saturée de vapeur d'eau; nous avons obtenu les poids suivants :

NOMS DES ÉTOFFES	POIDS DES ÉTOFFES		Coefficient d'absorption pour la vapeur d'eau
	SÈCHES	SATURÉES	
Drap rouge de soldat, n° 1..	2 gr. 930	3 gr. 035	1.036
— — n° 2..	2 330	2 355	1.010
— satin officier..	2 705	2 725	1.007
Drap gris bleu capote, n° 1.	2 960	2 985	1.008
— — n° 2.	2 940	3 003	1.021

Si nous comparons ces coefficients d'absorption pour la vapeur d'eau avec ceux des étoffes non imprégnées, nous remarquons une différence importante. Les étoffes imprégnées ont un coefficient bien plus faible.

Ainsi pour le pantalon rouge de soldat n° 2, le coefficient sera de 1.102 quand il ne sera pas imprégné de suint et de 1.010 quand il sera imprégné.

Si nous plaçons maintenant les carrés d'étoffes imprégnés de suint sur l'eau, nous remarquons qu'au bout de 24 heures ils surnagent encore, alors que dans ces conditions les étoffes non imprégnées tombent au fond rapidement.

Si nous pesons ces carrés d'étoffes après leur séjour de 24 heures sur l'eau, nous obtenons :

Drap rouge de soldat n° 1.	3 gr. 625
— — n° 2.	3 — 005
— — satin officier.	3 — 605
— gris bleu, capote n° 2.	3 — 505
— — — n° 1.	3 — 545

Si après ce séjour de 24 heures sur l'eau, nous tritu-

rons sous l'eau ces carrés d'étoffes et que nous les laissons sous l'eau 48 heures, nous obtiendrons.

NOMS DES ÉTOFFES	POIDS DES ÉTOFFES		Coefficient d'absorption pour l'eau
	Sèches	après 24 heur. sur l'eau, trituration, et 48 h. sous l'eau	
Drap rouge de soldat, n° 1..	2 gr. 930	5 gr. 295	1.807
— — n° 2..	2 330	4 170	1.423
— satin officier..	2 705	4 210	1.559
Drap gris bleu capote, n° 1.	2 960	5 015	1.694
— — n° 2.	2 940	5 002	1.701

Si nous comparons également ces coefficients d'absorption pour l'eau avec ceux des étoffes non imprégnées de suint, nous voyons encore que ces étoffes ont des coefficients plus élevés que ceux des étoffes imprégnées. Ainsi le pantalon rouge n° 2 imprégné, a comme coefficient le nombre 1.423 et lorsqu'il n'est pas imprégné, le nombre 2.512. La capote imprégnée, 1.694, et non imprégnée, 3,345.

L'imprégnation des étoffes par le « suint neutre 1 », diminue leur coefficient d'absorption et pour la vapeur d'eau et pour l'eau elle-même.

Si nous cherchons maintenant la *résistance au passage de l'eau* des étoffes imprégnées de suint, nous trouvons qu'au bout de 24 heures, quelle que soit l'étoffe, l'eau ne traverse pas sous une pression de 2 centimètres (d'eau).

Conclusions. — Des résultats de nos recherches nous pouvons conclure que l'imprégnation par le « suint neutre 1 » des étoffes de laine, rend ces dernières quand

elles sont sèches, meilleures conductrices de la chaleur, et diminuent leur perméabilité gazeuse, mais dans des proportions si faibles, qu'il ne faut pas pour cela rejeter ce procédé d'imperméabilisation hydrofuge des étoffes, procédé qui a pour lui :

1° de *diminuer*, en général, le pouvoir émissif des étoffes sèches ;

2° de *diminuer* la *conductibilité calorifique intérieure* des étoffes quand elles sont *mouillées* ;

3° de permettre aux *étoffes mouillées* de garder leur *perméabilité gazeuse* presque *intacte* ;

4° de permettre aux étoffes de *lutter victorieusement* contre le *passage de l'eau*.

Ajoutons à cela les conclusions de M. le Médecin-Major Berthier :

1° L'augmentation minime de poids ;

2° Inaltération de la couleur ;

3° L'augmentation de la solidité ;

4° Le passage assuré de la vapeur d'eau ;

5° La résistance à la benzine, à l'alcool et même à un léger savonnage.

Nous voyons alors les grands avantages que l'on peut retirer de l'emploi du suint pour imperméabiliser à l'eau les vêtements du soldat.

La dépense est minime. Il faut deux litres de solution pour une capote, un pantalon, un képi. Ce qui fait 0 fr. 60 centimes d'essence. Le suint revient à 55 fr. les 100 kilog., et avec 100 kilog. on peut imperméabiliser à l'eau 5.000 collections d'effets.

Si nous comparons l'imperméabilisation hydrofuge par le suint, à celle obtenue par l'acétate d'alumine, nous voyons que l'avantage est à la première.

1° Avec le suint, le procédé d'imperméabilisation hydrofuge est rapide et fort simple. La coloration des étoffes n'est pas altérée du tout. Le passage de l'eau est rendu impossible, la benzine et l'alcool, un lavage modéré avec un savon neutre, ne détruisent pas l'imperméabilisation hydrofuge.

2° Tandis que l'imperméabilisation hydrofuge à l'alumine est longue, altère la coloration des étoffes, laisse passer l'eau au bout d'un temps variant d'après les auteurs de 1 heure 1/4 (Hiller) à 30 heures (Krotov). La benzine, l'alcool, la sueur détruisent l'imperméabilisation. Les étoffes imprégnées d'alumine ne peuvent être lavées.

RÉSUMÉ ET CONCLUSIONS

Les recherches des auteurs qui nous ont précédé ne pouvaient pas permettre d'évaluer, d'une part, la conductibilité calorifique intérieure, d'autre part, le pouvoir émissif des tissus vestimentaires. Ce que tous ont mesuré est un effet complexe dans lequel interviennent à la fois la conductibilité, la chaleur spécifique et le pouvoir émissif.

Nous avons repris ces recherches sur les deux propriétés physiques précédentes des étoffes. Nous n'avons expérimenté que sur des tissus de laine employés pour l'habillement du soldat d'infanterie.

I. — Pour ce qui est de la conductibilité calorifique intérieure, nous nous sommes servi d'un appareil imaginé par M. Bordier, dans le but de mesurer la conductibilité calorifique comparative des tissus de l'organisme et qui permet de ne mesurer que la conductibilité calorifique intérieure d'un corps de nature organique.

Nous avons trouvé que les draps du soldat sont moins bons conducteurs, toutes choses égales d'ailleurs, que ceux de l'officier.

Pour le soldat, les étoffes sèches se classent dans l'ordre suivant de conductibilité décroissante : drap gris bleuté pour capote, drap bleu foncé pour tunique, drap rouge pour pantalon.

Les mêmes déterminations ont été faites sur les étoffes mouillées ; nous avons trouvé que leur conductibilité intérieure est plus grande que quand elles sont sèches et celle-ci tend à s'uniformiser, ce qui s'explique par l'eau interposée entre les mailles des tissus.

II. — En ce qui concerne le pouvoir émissif, nous avons déterminé sa valeur relative à l'aide d'une pile thermo-électrique fermée sur une boussole de Wiedemann, modifiée par M. d'Arsonval, et ce sont les déviations d'un faisceau lumineux qui ont été prises pour mesurer les pouvoirs émissifs des différentes étoffes, quand leur surface intérieure avait exactement la même température.

Nous avons trouvé que les draps d'officier ont un pouvoir émissif plus grand que celui des draps de soldat, excepté pour le pantalon rouge satin. Lorsque les draps sont mouillés, leur pouvoir émissif tend à devenir le même ; en général, il devient légèrement supérieur à celui des draps secs. Ce résultat, nous l'expliquons par ce fait que la face rayonnante n'est plus à proprement parler celle de l'étoffe, mais bien une surface liquide, toujours la même.

III. — Nous avons étudié en troisième lieu la perméabilité gazeuse des étoffes, d'une manière aussi complète que possible, en nous plaçant dans des conditions se rapprochant beaucoup de celles qui existent lorsqu'une étoffe

est voisine de la surface du corps ; nous avons trouvé cette perméabilité plus grande pour les draps du soldat que pour ceux de l'officier.

La valeur de cette propriété physique très importante diminue lorsque les étoffes sont saturées de vapeur d'eau (eau hygroskopique) ; lorsqu'elles sont mouillées (eau d'interposition), la perméabilité gazeuse devient nulle dans les conditions où nous nous sommes placé.

IV. — De ce qui précède, il résulte que, d'une manière générale, les étoffes de l'officier sont moins hygiéniques que celles du soldat. Ce dernier est mieux protégé contre le froid par une moins bonne conductibilité intérieure et par un pouvoir émissif plus faible de ses vêtements. Contre la chaleur, le soldat luttera mieux encore que l'officier, à cause de la facilité avec laquelle l'évaporation de la sueur s'opérera au travers d'un vêtement à perméabilité gazeuse plus grande.

V. — L'eau rendant les étoffes meilleures conductrices de la chaleur, et abolissant leur perméabilité à l'air, il est nécessaire de l'imperméabiliser pour l'eau. Le dernier procédé proposé est celui de M. le Médecin-Major Berthier. Il consiste à tremper les étoffes dans une solution de « suint neutre 1 » dans l'essence de pétrole.

Nous avons fait pour ces étoffes les mêmes déterminations que pour les étoffes non imprégnées de suint et de la comparaison avec les résultats obtenus pour ces dernières, nous concluons :

A. — Que l'imperméabilisation hydrofuge augmente

un peu la conductibilité calorifique intérieure des étoffes sèches et diminue celle des étoffes mouillées.

B. — L'imperméabilisation diminue légèrement le pouvoir émissif qui tend à prendre la même valeur pour les différents draps.

C. — L'imperméabilisation hydrofuge diminue dans une très petite mesure, la perméabilité gazeuse des étoffes sèches; l'eau hygroscopique modifie très peu la perméabilité gazeuse des draps imperméabilisés.

D. — L'imperméabilisation diminue beaucoup l'absorption de la vapeur d'eau et de l'eau elle-même.

E. — L'imperméabilisation rend impossible le passage de l'eau sous une pression de 20 millimètres (d'eau.)

F. — Il résulte de ce qui précède que le procédé d'imperméabilisation de M. Berthier est excellent, et il serait désirable qu'on l'appliquât aux étoffes de laine employées dans l'armée.

VU : *le Président de la Thèse,*

MONOYER.

VU : *le Doyen,*

LORTET.

VU ET PERMIS D'IMPRIMER :

Le Recteur,

Gabriel COMPAYRÉ.



INDEX BIBLIOGRAPHIQUE

- BERTHIER**..... Utilisation du suint en hygiène militaire
(Archives de Médecine et de pharmacie
militaire, t. 32, juillet 1898).
- BOECKMANN**..... Physikalische Beschreibung der Gesundbrun-
nen. — Carlsruhe, 1810.
- BORDIER**..... Congrès de Saint-Etienne, août 1897.
- BORDIER et KOLB**..... Congrès de Nantes, août 1898.
- BUCHNER**..... Das Wasserdichtmachen der Gewebe (Baye-
rischen Industrie und Gewerbeblatt, 1888,
nos 22 et 25).
- CHARRIN et GUILLEMONAT**. Archives de physiologie, juillet 1898.
- COULIER**..... Expériences sur les étoffes qui servent à
confectionner les vêtements militaires
(Journal de la physiologie de l'homme et
des animaux, t. 1, page 122, 1858.)
- FORBES**..... Proceedings of the royal Society of Edim-
bourg, 1872.
- FOURIER**..... Mémoires de l'Académie des Sciences, t IV
et V, 1812.
- Théorie analytique de la chaleur. Paris, 1882.
- GEIGEL**..... Archiv für Hygiene. 1887
- HAMMOND (W.-A.)**..... Treatise on Hygiene, with spécial reference
to the military service, (p. 583, Philadel-
phia, 1863).
- HILLER (A.)**..... Ueber Erwärmung und Abkühlung der Infan-
teristen aus dem Marsche und dem Einfluss
der Kleidung darauf. (Deut. militärarz-
tliche Zeitschrift, 1885).

- HILLER (A)..... Untersuchungen über die Brauchbarkeit der Poröses-wasserdichtsoffen für die militär Bekleidung (D. milit. arztl. Zeitschrift, p 1, 1888).
- KLAS LINROTH..... Sur la manière dont se comporte l'eau dans nos vêtements : (Nordiskt medic., Arkiv., XIII, n° 16, 1881).
- KRIEGER..... Zeitschrift für Biologie, p. 504, 1869.
- KROTOV (A)..... De l'imprégnation des tissus par le procédé du docteur Pavlovski. (in Razviedtchik, n° 411, 8 sept., 1893).
- LORENZ..... Ueber die Brauchbarkeit wasserdichter Stoffe zur Kleidung mit Besonderer Berücksichtigung der Bekleidung des Soldaten (Der Militärarzt, 1890-1891).
- MORACHE..... Traité d'hygiène militaire, 1886.
- MÜLLER (B)..... Ueber die Beziehung des Wassers, zur Militärbekleidung. (Archiv für Hygiene. page 1, 34, 1884).
- NOCHT..... Vergleichende Untersuchungen über verschiedene zu Unsterkleidern verwendete Stoffe (Zeitschrift für Hyg. V., 1889).
- PÉCLET..... Traité de la chaleur. T. 1, p. 509, t. 3, p. 109.
- PETTENKOFER..... Ueber der Function der Kleider. (Zeitschrift für Biologie, t. 1, 1865).
- POMMAY..... De l'imperméabilisation des vêtements. (Revue d'Hygiène, 1871).
- RADAU..... Les vêtements et les habitations dans leurs rapports avec l'atmosphère, 1893.
- REICHENBACH..... Beiträge zur Lehre der Wasser aufnahme durch die Kleidung. (Arch. f. Hyg. XIII, 1891)
- RICHT (C)..... La calorimétrie et la production de chaleur (Revue scientifique, août 1886).
- RUMPEL..... Ueber den Werth der Bekleidung und ihre Rolle bei der Wärmeregulation. (Arch. f. Hyg. 1889.)
- SCHUHMEISTER..... Sitzungsberichte der K. (Congrès des Sciences à Vienne, 1877).

- SCHUSTER..... Ueber das Verhalten der trockenen Kleidungstoffe gegenüber dem Warmedurchgang. (Archiv. f. Hyg., VIII, p. 1, 1888).
- VALLIN..... Revue d'Hygiène, 1831.
- VAN AUBEL et PAILLOT... Sur la mesure des températures par les couples thermo-électriques. (Archives des sciences physiques et naturelles de Genève, p. planche III, 1895).
- VAQUEZ Hygiène des vêtements (Rev. d'Hyg. 1888.)
- VIENER..... Le vêtement de l'équipement militaire au point de vue de l'hygiène, 1897, in-8°. Vienne et Leipsig.
-

TABLE DES MATIÈRES

	Pages
INTRODUCTION.....	7
CHAPITRE I ^{er} . — Etude physique des étoffes au point de vue thermique	11
§ 1. — <i>Historique et critique des travaux parus.</i>	
Historique.....	11
Critique.....	16
Distinction de la conductibilité calorifique intérieure d'avec le pouvoir émissif.....	18
§ 2. — <i>Conductibilité calorifique intérieure</i>	20
Méthode employée pour l'évaluer.....	20
Critiques de MM. Charrin et Guillemonat..	26
Résultats et conclusions.....	29
§ 3. — <i>Du pouvoir émissif</i>	34
Méthode employée pour l'évaluer.....	37
Résultats et conclusions.....	39
Pouvoir absorbant.....	43
CHAPITRE II. — Etude expérimentale de la perméabilité gazeuse	47
Historique.....	48
Méthode employée pour rechercher cette perméabilité.....	50
Coefficient de perméabilité gazeuse.....	53
Résultats et conclusions :	
A. Etoffes sèches.....	55
B. Etoffes saturées de vapeur d'eau.....	56
C. Etoffes complètement mouillées.....	59

	Pages
CHAPITRE III. — Manière dont se comportent les étoffes vis-à-vis de l'eau.....	61
§ 1. — <i>Affinité des étoffes pour l'eau et la vapeur d'eau; de la résistance qu'elles opposent au passage de l'eau.....</i>	62
Historique	62
Recherches faites sur des échantillons d'étoffes :	
Eau hygrométrique.....	65
Eau d'interposition.....	65
Résultats et conclusions.....	66
Recherches faites sur des vêtements entiers :	
Méthode employée.....	68
Résultats et conclusions.....	70
Passage de l'eau à travers les étoffes :	
Méthode employée.....	72
Résultats et conclusions.....	73
§ 2. — <i>De l'imperméabilisation hydrofuge des étoffes .</i>	74
Les différents procédés employés.....	75
Valeur de ces procédés; expériences de :	
1 ^o Muller, Hiller, Lorenz.....	76
2 ^o Krotov.....	79
Nouveau procédé pour l'imprégnation des étoffes avec le « suint neutre 1 ».....	83
Expériences de M. Berthier.....	84
Détermination de la conductibilité.....	87
— du pouvoir émissif.....	90
— de la perméabilité gazeuse.	91
— de la résistance au passage de l'eau.....	93
Valeur de ce nouveau procédé.....	95
RÉSUMÉ et CONCLUSIONS.....	99

ERRATA

Page	Ligne	Lire	Au lieu de
13....	10...	15 min, 5 sec.	1.55.
15....	27...	filet d'eau.....	plet d'eau.
16....	2...	de l'eau.....	dans l'eau.
20....	3...	successivement: 1 ^o	: 1 ^o successivement.
44....	13...	marquait 35° que nous.....	marquant 35°, nous.
54....	22....	$\frac{Ve}{Va}$	$\frac{Va}{Ve}$
79....	7...	M. le Médecin Major Roy..	M. le Major Roy.

IMPRIMERIE A. BONNAVIAT, RUE SAINTE-CATHERINE, 13, LYON.
